

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-58995

(P2002-58995A)

(43) 公開日 平成14年2月26日 (2002.2.26)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テマコード* (参考)
B 0 1 J	19/08	B 0 1 J 19/08	H 4 G 0 7 5
H 0 1 L	21/205	H 0 1 L 21/205	5 F 0 0 4
	21/3065	H 0 5 H 1/24	5 F 0 4 5
H 0 5 H	1/24	H 0 1 L 21/302	B
			H
審査請求 未請求 請求項の数11 O L (全 17 頁)			

(21) 出願番号 特願2000-250285 (P2000-250285)

(22) 出願日 平成12年8月21日 (2000.8.21)

(71) 出願人 000005832

松下電工株式会社

大阪府門真市大字門真1048番地

(71) 出願人 593133693

株式会社ハイデン研究所

兵庫県明石市魚住町清水465の1

(72) 発明者 田口 典幸

大阪府門真市大字門真1048番地 松下電工株式会社内

(74) 代理人 100087767

弁理士 西川 恵清 (外1名)

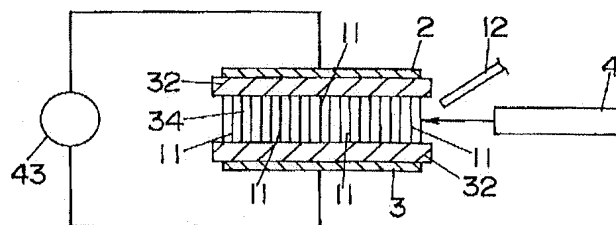
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 プラズマ処理装置及びプラズマ処理方法

(57) 【要約】

【課題】 プラズマ処理にかかるコストを低く抑えることができ、プラズマ密度を高くすることができ、プラズマ処理の能力を高くすることができるプラズマ処理装置を提供する。

【解決手段】 対向配置された電極2、3の間を放電空間34として形成する。対向配置された電極2、3のうち少なくとも一方の電極2 (又は電極3) の放電空間34側に誘電体32を設ける。放電空間34にプラズマ生成用ガスを供給すると共に電極2、3間に電圧を印加することによって大気圧近傍の圧力下で放電空間34に誘電体バリア放電を発生させるプラズマ処理装置に関する。電極2、3間に印加する電圧の波形を休止時間のない交番電圧波形とすると共にこの交番電圧波形の立ち上がり時間を100 μ s e c以下とする。



- 2...電極
- 3...電極
- 32...誘電体
- 34...放電空間

【特許請求の範囲】

【請求項1】 対向配置された電極の間を放電空間として形成し、対向配置された電極のうち少なくとも一方の電極の放電空間側に誘電体を設け、放電空間にプラズマ生成用ガスを供給すると共に電極間に電圧を印加することによって大気圧近傍の圧力下で放電空間に誘電体バリア放電を発生させるプラズマ処理装置において、電極間に印加する電圧の波形を休止時間のない交番電圧波形とすると共にこの交番電圧波形の立ち上がり時間を100 μ sec以下とすることを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項2】 対向配置された電極の間を放電空間として形成し、対向配置された電極のうち少なくとも一方の電極の放電空間側に誘電体を設け、放電空間にプラズマ生成用ガスを供給すると共に電極間に電圧を印加することによって大気圧近傍の圧力下で放電空間に誘電体バリア放電を発生させるプラズマ処理装置において、電極間に印加する電圧の波形を休止時間のない交番電圧波形とすると共にこの交番電圧波形の立ち下がり時間を100 μ sec以下とすることを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項3】 交番電圧波形の繰り返し周波数を0.5～200kHzにすることを特徴とする請求項1又は2に記載のプラズマ処理装置。

【請求項4】 電極間に印加される電界強度を1～200kV/cmにすることを特徴とする請求項1乃至3のいずれかに記載のプラズマ処理装置。

【請求項5】 電極間に印加する休止時間のない交番電圧波形の電圧にパルス状の高電圧を重畳することを特徴とする請求項1乃至4のいずれかに記載のプラズマ処理装置。

【請求項6】 パルス状の高電圧を交番電圧波形の電圧極性が変化した直後より所定時間経過した後に重畳することを特徴とする請求項5に記載のプラズマ処理装置。

【請求項7】 パルス状の高電圧を交番電圧波形の1周期内に複数重畳することを特徴とする請求項5又は6に記載のプラズマ処理装置。

【請求項8】 パルス状の高電圧の立ち上がり時間を0.1 μ sec以下とすることを特徴とする請求項5乃至7のいずれかに記載のプラズマ処理装置。

【請求項9】 パルス状の高電圧の波高値を交番電圧波形の最大電圧値以上とすることを特徴とする請求項5乃至8のいずれかに記載のプラズマ処理装置。

【請求項10】 電極間に印加する休止時間のない交番電圧波形を、複数種の周波数の交番電圧波形を重ね合わせて形成して成ることを特徴とする請求項1乃至9のいずれかに記載のプラズマ処理装置。

【請求項11】 請求項1乃至10のいずれかに記載のプラズマ処理装置を用いてプラズマ処理を行うことを特徴とするプラズマ処理方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、被処理物の表面に存在する有機物等の異物のクリーニング、レジストの剥離、有機フィルムの密着性の改善、金属酸化物の還元、製膜、表面改質などのプラズマ処理に利用されるプラズマを発生させるためのプラズマ処理装置、及びこれを用いたプラズマ処理方法に関するものであり、特に、精密な接合が要求される電子部品の表面クリーニング等に応用されるものである。

【0002】

【従来の技術】従来より、対向配置された電極間に電圧を印加することにより大気圧下でグロー放電を安定に生成し、このグロー放電により得られるプラズマを用いて配線板等の基板に表面処理が行われている。例えば、特開平2-15171号公報、特開平3-241739号公報あるいは特開平1-306569号公報には、反応容器内の放電空間に一对の電極を設けると共に少なくとも一方の電極の放電空間側の表面に誘電体を配置し、He（ヘリウム）やAr（アルゴン）等の希ガスを主成分とするプラズマ生成用ガスで放電空間を満たし、電極の間に交番電圧を印加してプラズマ生成用ガスのプラズマを生成し、反応容器内に置かれた被処理物をこのプラズマで処理する方法が開示されている。

【0003】しかし、この方法では被処理物の特定領域のみにプラズマ処理を施すのが難しく、また、処理時間も長くなるという問題があった。そこで、大気圧下でグロー放電により生成したプラズマジェット（特にプラズマの活性種）を被処理物に吹き付けてプラズマ処理をすることが提案されており、このようなプラズマ処理方法として、例えば、特開平4-358076号公報、特開平3-219082号公報、特開平4-212253号公報、特開平6-108257号公報などに各種の方法が開示されている。

【0004】上記のようなプラズマ処理方法では、大気圧下でグロー放電を安定して発生させるための一つの方法として、Heを多量に含むプラズマ生成用ガスを放電空間に導入するようにしている。また、大気圧下でグロー放電を安定して発生させるための他の方法として、放電空間への投入電力を小さくするようにしている。さらに、大気圧下でグロー放電を安定して発生させるための他の方法として、特開平10-154598号公報には、特殊なパルス電源を用いて電極間にパルス状の電圧を印加することによって、Heを用いずに大気圧下でグロー放電を安定して発生させてプラズマ処理を行う方法が開示されている。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】しかし上記のように、Heを多量に含むプラズマ生成用ガスを放電空間に導入する方法では、高価なHeが必須であり、プラズマ処理

10

20

30

40

50

にかかるコスト（ランニングコスト）が高くなるという問題があった。また、放電空間への投入電力を小さくする方法では、アークの発生が抑えられて被処理物へのダメージが起こらないようにすることができるものの、生成されるプラズマの密度が低くなりプラズマ処理の能力が低いという問題があった。さらに、特開平10-154598号公報に記載された方法では、Heを用いないでプラズマ処理ができるものの、特殊なパルス電源を用いて電極間にパルス状の電圧を印加しているので、放電空間で発生するグロー放電はパルス状の放電（パルス放電）となって放電の休止時間が発生してしまうことになり、これにより、プラズマ密度の時間的平均値は低い値となって、プラズマ処理の能力が低いという問題があった。

【0006】本発明は上記の点に鑑みてなされたものであり、誘電体バリア放電を利用することによって、Heが不要となってプラズマ処理にかかるコストを低く抑えることができ、また、放電空間への投入電力を大きくすることが可能となってプラズマ密度を高くすることができ、プラズマ処理の能力を高くすることができるプラズマ処理装置及びプラズマ処理方法を提供することを目的とするものである。

【0007】

【課題を解決するための手段】本発明の請求項1に係るプラズマ処理装置は、対向配置された電極2、3の間を放電空間34として形成し、対向配置された電極2、3のうち少なくとも一方の電極2（又は電極3）の放電空間34側に誘電体32を設け、放電空間34にプラズマ生成用ガスを供給すると共に電極2、3間に電圧を印加することによって大気圧近傍の圧力下で放電空間34に誘電体バリア放電を発生させるプラズマ処理装置において、電極2、3間に印加する電圧の波形を休止時間のない交番電圧波形とすると共にこの交番電圧波形の立ち上がり時間を100μsec以下とすることを特徴とするものである。

【0008】本発明の請求項2に係るプラズマ処理装置は、対向配置された電極2、3の間を放電空間34として形成し、対向配置された電極2、3のうち少なくとも一方の電極2（又は電極3）の放電空間34側に誘電体32を設け、放電空間34にプラズマ生成用ガスを供給すると共に電極2、3間に電圧を印加することによって大気圧近傍の圧力下で放電空間34に誘電体バリア放電を発生させるプラズマ処理装置において、電極2、3間に印加する電圧の波形を休止時間のない交番電圧波形とすると共にこの交番電圧波形の立ち下がり時間を100μsec以下とすることを特徴とするものである。

【0009】また、本発明の請求項3に係るプラズマ処理装置は、請求項1又は2の構成に加えて、交番電圧波形の繰り返し周波数を0.5～200kHzにすることを特徴とするものである。

【0010】また、本発明の請求項4に係るプラズマ処理装置は、請求項1乃至3のいずれかの構成に加えて、電極2、3間に印加される電界強度を1～200kV/cmにすることを特徴とするものである。

【0011】また、本発明の請求項5に係るプラズマ処理装置は、請求項1乃至4のいずれかの構成に加えて、電極2、3間に印加する休止時間のない交番電圧波形の電圧にパルス状の高電圧を重畳することを特徴とするものである。

【0012】また、本発明の請求項6に係るプラズマ処理装置は、請求項5の構成に加えて、パルス状の高電圧を交番電圧波形の電圧極性が変化した直後より所定時間経過した後に重畳することを特徴とするものである。

【0013】また、本発明の請求項7に係るプラズマ処理装置は、請求項5又は6の構成に加えて、パルス状の高電圧を交番電圧波形の1周期内に複数重畳することを特徴とするものである。

【0014】また、本発明の請求項8に係るプラズマ処理装置は、請求項5乃至7のいずれかの構成に加えて、パルス状の高電圧の立ち上がり時間を0.1μsec以下とすることを特徴とするものである。

【0015】また、本発明の請求項9に係るプラズマ処理装置は、請求項5乃至8のいずれかの構成に加えて、パルス状の高電圧の波高値を交番電圧波形の最大電圧値以上とすることを特徴とするものである。

【0016】また、本発明の請求項10に係るプラズマ処理装置は、請求項1乃至9のいずれかの構成に加えて、電極2、3間に印加する休止時間のない交番電圧波形を、複数種の周波数の交番電圧波形を重ね合わせて形成して成ることを特徴とするものである。

【0017】本発明の請求項11に係るプラズマ処理方法は、請求項1乃至10のいずれかに記載のプラズマ処理装置を用いてプラズマ処理を行うことを特徴とするものである。

【0018】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態を説明する。

【0019】まず、誘電体バリア放電の基礎的な特性について以下に説明する（参考文献：林泉著「高電圧プラズマ工学」P35、丸善株式会社）。誘電体バリア放電は、対をなす（一對の）電極2、3を対向配置して電極2、3の間に放電空間34を形成し、図11（a）に示すように両方の電極2、3の放電空間34側の表面に誘電体（固体誘電体）32を設けて電極2、3の放電空間34側の表面を覆ったり、図11（b）に示すように一方の電極2（電極3であってもよい）の放電空間34側の表面に誘電体（固体誘電体）32を設けて電極2の放電空間34側の表面を覆ったりすることによって、電極2、3間で直接放電が起こらないようにした状態にし、この状態で電源43により電極2、3間に交番電圧を印

加することによって放電空間34で生じる放電現象である。このように放電空間34を1気圧程度の気体で満たして電極2、3間に交番高電圧を加えると、図12に示すように、放電空間34において、電界と平行方向に無数のきわめて細い光の筋が一樣に発生する。光の筋はストリーマ11によるものである。ストリーマ11の電荷は電極2、3が誘電体32で覆われているために、電極2、3に流れ込めず、よって、放電空間34中の電荷は電極2、3の表面の誘電体32に蓄積される（これを壁電荷と呼ぶ）。

【0020】この壁電荷による電界は、図16(a)の状態から図16(b)の状態へ電源43の極性が反転すると電源43から供給されている交番電界と逆方向となるため、壁電荷が増加すると放電空間34の電界が低下して誘電体バリア放電が停止する。しかし、次の電源43の交番電圧の半サイクルでは、壁電荷による電界と電源43から供給されている交番電界との方向が一致するため、容易に誘電体バリア放電が発生する。つまり、一度、誘電体バリア放電が開始すると、後は比較的低い電圧で誘電体バリア放電を維持することができるものである。

【0021】誘電体バリア放電に生じている無数のストリーマ11は、放電空間34で生じている誘電体バリア放電そのものであるため、ストリーマ11の発生数及び各ストリーマ11に流れている電流値がプラズマ密度に影響する。誘電体バリア放電における電流-電圧特性の一例を図13に示す。この電流-電圧特性から明らかなように、誘電体バリア放電における電流波形（ギャップ電流の波形）は、正弦波状の電流波形にスパイク状の電流が重畳されたものになっており、このスパイク状の電流がストリーマ11が発生した時に放電空間34に流れている電流である。尚、図13における①は印加電圧の波形を、②はギャップ電流の波形をそれぞれ示す。

【0022】誘電体バリア放電の等価回路を図14に示す。図中の各記号は次の通りである。

Cd：電極2、3の表面の誘電体32の静電容量

Cg：放電空間34（放電ギャップ部）の等価静電容量

Rp：プラズマインピーダンス

放電空間34に発生する無数のストリーマ11は、図中のスイッチSがON-OFFすることによってRpに電流が流れることに相当する。先に述べたように、プラズマ密度はストリーマ11の発生数及び各ストリーマ11に流れている電流値に影響を受けるため、等価回路的にはスイッチSのON-OFFの頻度及びON時間及びON時間中の電流値で規定される。

【0023】この等価回路を用いて、誘電体バリア放電の動作を簡単に説明する。図15に電源43による印加電圧波形及びCgとRpの電流波形の模式図を示す。Cgに流れる電流は放電空間34の等価コンデンサの充放電電流であるため、プラズマ密度を決定する電流とはな

らない。これに対して、スイッチSがONした瞬間にRpに流れる電流は、ストリーマ11そのものの電流であるため、この電流の持続時間と電流値が大きい程、プラズマ密度が高くなる。

【0024】上記のように誘電体バリア放電は、壁電荷が増加して放電空間34の電界が低下すると停止する。よって、電極2、3への印加電圧が最大値を超えて低下する領域（図15のA1の領域）あるいは電極2、3への印加電圧が最小値を超えて増加する領域（図15のA2の領域）では誘電体バリア放電は発生せず、電源43により印加される交番電圧の極性が反転する迄の期間はコンデンサの充放電電流のみが流れることになる。従って、電極2、3への印加電圧が最小値を超えて増加する領域A2の時間（これを立ち上がり時間という）あるいは電極2、3への印加電圧が最大値を超えて低下する領域A1の時間（これを立ち下がり時間という）を短くすることにより、誘電体バリア放電が停止する時間が短くなってプラズマ密度を高くすることができ、プラズマ処理の能力（効率）を高くすることができるものである。

【0025】図1に本発明の実施の形態の一例を示す。このプラズマ処理装置は、対向配置された電極2、3の間を放電空間34として形成し、電極2、3間に休止時間のない交番電圧波形の電圧を印加するための電源43を電極2、3に接続して設けると共に両方の電極2、3の放電空間34側に誘電体32を設け、さらに放電空間34にプラズマ生成用ガスを供給するためのノズル12を電極2、3の側方に配設することによって形成されている。

【0026】電極2、3は銅、アルミニウム、真鍮、耐食性の高いステンレス鋼などの金属材料で板状に形成されている。また、誘電体32は誘電体材料（絶縁材料）で板状あるいは薄膜状に形成されるものであって、誘電体材料としては誘電率が2000以下のものを用いることができ、珪瑯、石英、アルミナ、イットリア部分安定化ジルコニウムなどのガラス質材料やセラミック材料、アルミナ（ Al_2O_3 ）、酸化チタン（チタニアでTiO₂）、SiO₂、AlN、Si₃N₄、SiC、DLC（ダイヤモンド様炭素皮膜）、チタン酸バリウム、PZT（チタン酸鉛ジルコネート）、マグネシア（MgO）単体あるいはマグネシアを含む材料などを例示することができる。

【0027】このような誘電体32を電極2、3の表面に設けて被覆する（コーティングする）にあたっては、板状に形成した誘電体32を電極2、3の表面に接着して密着させる方法、及びアルミナ、チタン酸バリウム、酸化チタン、PZTなどの粉末をプラズマ中で分散させ、電極2、3の表面に吹き付けるようにするプラズマ溶射法、及びシリカ、酸化スズ、チタニア、ジルコニア、アルミナなどの無機質粉末を溶剤などにより分散し、電極2、3の表面にスプレーなどで吹き付けて被覆

した後、600℃以上の温度で熔融させるいわゆる珪瑯被覆方法、及びゾルゲル法によるガラス質膜の形成方法などを採用することができる。さらに、気相蒸着法(CVD)もしくは物理蒸着法(PVD)により電極2、3の表面をコーティングすることもできる。

【0028】誘電体32を珪瑯で形成する場合は、従来から行われている珪瑯の形成方法をそのまま用いることができ、例えば、ガラスハンドブック(朝倉書店、1991、4、10、第12刷、p191~196)や実用表面改質技術総覧(技術材料研究協会編、1993、3、25初版、p731)などに記載されている方法を採用することができる。具体的には、シリカ、酸化スズ、チタニア、ジルコニア、アルミナ等の無機質粉末(ガラス質材料)を原料とする釉薬を電極2、3の表面にスプレー掛けしたり浸け掛け(ディッピング)などで供給して電極2、3の表面に釉薬の皮膜を形成し、この後、480~1000℃の温度で1~15分間加熱処理して電極2、3の表面に無機質粉末を融着することによって形成することができる。

【0029】誘電体32の厚みは0.1~2mmにするのが好ましい。誘電体32の厚みが0.1mm未満であれば、誘電体32の絶縁破壊が発生して誘電体バリア放電が生じない恐れがあり、誘電体32の厚みが2mmを超えると、放電開始電圧が高くなって装置の動作開始に長時間を要する恐れがある。

【0030】このように誘電体32を電極2、3の表面に設けることによって、上記のような誘電体バリア放電を発生させることができると共に多数のストリーマ11からなるプラズマのスパッタリング作用やプラズマ生成用ガスの腐食作用から電極2、3を保護することができ、電極2、3の劣化を少なくすることができるものであり、また、電極2、3から不純物が生じないようにすることができて長期間の使用であっても被処理物が不純物より汚染されないようにすることができるものである。

【0031】プラズマ生成用ガスとしては空気、好ましくは水分をほとんど含まない乾燥空気を用いることができる。本発明ではグロー放電でない誘電体バリア放電を利用するので、希ガスなどの特殊なガスを用いる必要が無く、プラズマ処理にかかるコストを低く抑えることができるものである。また、誘電体バリア放電を安定して発生させるなどの理由でプラズマ生成用ガスとしてHe以外の希ガスあるいはHe以外の希ガスと反応ガスの混合気体を用いることができる。希ガスとしては、アルゴン、ネオン、クリプトンなどを使用することができるが、放電の安定性や経済性を考慮するとアルゴンを用いるのが好ましい。このように本発明ではグロー放電でない誘電体バリア放電を利用するので、希ガスとしてヘリウムを用いる必要が無く、プラズマ処理にかかるコストを低く抑えることができるものである。反応ガスの種類

は処理の内容によって任意に選択することができる。例えば、被処理物の表面に存在する有機物のクリーニング、レジストの剥離、有機フィルムのエッチング、LCDの表面クリーニング、ガラス板の表面クリーニングなどを行う場合は、酸素、空気、CO₂、N₂Oなどの酸化性ガスを用いるのが好ましい。また、反応ガスとしてCF₄などのフッ素系ガスも適宜用いることができ、シリコンなどのエッチングを行う場合にはこのフッ素系ガスを用いるのが効果的である。また金属酸化物の還元を行う場合は、水素、アンモニアなどの還元性ガスを用いることができる。反応ガスの添加量は希ガスの全量に対して10体積%以下、好ましくは0.1~5体積%の範囲である。反応ガスの添加量が0.1体積%未満であれば、処理効果が低くなる恐れがあり、反応ガスの添加量が10体積%を超えると、誘電体バリア放電が不安定になる恐れがある。

【0032】このように形成されるプラズマ処理装置を用いて、回路用基板や液晶用ガラス基板等のピース状(短尺)で板状の被処理物4をプラズマ処理するにあたっては、次のようにして行う。まず、ノズル12からプラズマ生成用ガスを吹き出して放電空間34に導入すると共に電源43により休止時間のない交番電圧波形の電圧を電極2、3間に印加することによって、大気圧下あるいはその近傍の圧力下(93.3~106.7kPa(700~800Torr))で放電空間34に誘電体バリア放電を発生させ、この誘電体バリア放電によりプラズマ生成用ガスをプラズマ化してプラズマ活性種を含む多数のストリーマ11からなるプラズマを放電空間34に発生させる。この後、図1に矢印で示すように、放電空間34に被処理物4を導入し、被処理物4の表面にプラズマを供給することによって、プラズマ処理を行うことができる。

【0033】休止時間のない交番電圧波形の電圧としては、例えば、正弦波の波形の電圧を用いることができる。また、図17(a)(b)(c)に示すような休止時間のない交番電圧波形の電圧を用いることもできる。そして本発明では、この交番電圧波形の立ち上がり時間と立ち下がり時間の少なくとも一方、好ましくは両方を100μsec以下にする。立ち上がり時間と立ち下がり時間の両方が100μsec以上であると、放電空間34におけるプラズマ密度を高くすることができず、プラズマ処理の能力が低くなり、また、ストリーマ11が放電空間34に一樣に発生しにくくなって、均一なプラズマ処理を行うことができなくなる。尚、立ち上がり時間と立ち下がり時間は短いほど好ましいので、特に下限は設定されないが、現在入手できる電源43で最も立ち上がり時間と立ち下がり時間を短くすることができるものは40nsecであり、これが実質的な下限となる。しかしながら、将来的な技術開発により40nsecよりも短い立ち上がり時間と立ち下がり時間が実現できれ

ば、40 nsecよりも短い時間にするのが好ましい。

【0034】また、本発明では図18(a)に示すように、電極2、3間に印加する休止時間のない交番電圧波形の電圧にパルス状の高電圧を重畳するように電極2、3間に印加してしてもよい。このようにパルス状の高電圧を交番電圧波形の電圧に重畳することによって、放電空間34内で電子が加速されて高エネルギーの電子を生成することができ、この高エネルギーの電子により放電空間34内のプラズマ生成用ガスを効率よく電離、励起させることができ、高密度のプラズマを生成することが可能となり、プラズマ処理の効率を高めることができるものである。

【0035】このようにパルス状の高電圧を交番電圧波形の電圧に重畳する場合、パルス状の高電圧を交番電圧波形の電圧極性が変化した直後より所定時間経過した後、に重畳し、重畳するパルス状の高電圧を印加する時間を変化させるのが好ましく、これにより、放電空間34内での電子の加速状況を変化させることができる。従って、パルス状の高電圧を電極2、3間に印加するタイミングを変化させることにより、放電空間34内でのプラズマ生成用ガスの電離、励起状態を制御することが可能となり、所望のプラズマ処理に適したプラズマ状態を容易に作り出すことができるものである。

【0036】また、図18(b)に示すように、パルス状の高電圧を交番電圧波形の1周期内に複数重畳してもよく、これにより、図18(a)の場合よりも放電空間34内での電子の加速状況を変化させ易くするものである。従って、パルス状の高電圧を電極2、3間に印加するタイミングを変化させることにより、放電空間34内でのプラズマ生成用ガスの電離、励起状態をより制御しやすくなって、所望のプラズマ処理に適したプラズマ状態をさらに容易に作り出すことができるものである。

【0037】また、パルス状の高電圧の立ち上がり時間は0.1 μ sec以下にするのが好ましい。パルス状の高電圧の立ち上がり時間が0.1 μ secを超えると、放電空間34内のイオンもパルス状の電圧に追従して動くことが可能となり、電子のみを効率よく加速することができなくなる恐れがある。従って、パルス状の高電圧の立ち上がり時間を0.1 μ sec以下にすることによって、放電空間34内でプラズマ生成用ガスを効率よく電離、励起することができ、高密度のプラズマの生成が可能となってプラズマ処理の効率を高めることができるものである。

【0038】また、パルス状の高電圧の波高値は交番電圧波形の最大電圧値以上とするのが好ましい。パルス状の高電圧の波高値が交番電圧波形の最大電圧値未満の場合、パルス状の高電圧の重畳効果が低くなり、パルス状の電圧を重畳しない場合とほぼ同じプラズマ状態となる。従って、パルス状の高電圧の波高値は交番電圧波形の最大電圧値以上とすることにより、放電空間34内で

プラズマ生成用ガスを効率よく電離、励起することができて高密度のプラズマの生成が可能となり、プラズマ処理の効率を高めることができるものである。

【0039】また、本発明の電極2、3間に印加する休止時間のない交番電圧波形は、複数種の周波数の交番電圧波形を重ね合わせて形成し、図19のような波形にするのが好ましく、これにより、高周波成分の周波数の電圧により、放電空間34内の電子が加速されて高エネルギーの電子を生成することができ、この高エネルギーの電子により放電空間34内でプラズマ生成用ガスを効率よく電離、励起することができ、高密度のプラズマの生成が可能となってプラズマ処理の効率を高めることができるものである。

【0040】また、電極2、3間に印加される休止時間のない交番電圧波形の電圧の繰り返し周波数は、0.5~200 kHzに設定するのが好ましい。この繰り返し周波数が0.5 kHz未満であれば、単位時間内でのストリーマ11の発生数が少なくなるために、誘電体バリア放電のプラズマ密度が低くなってしまいプラズマ処理の能力(効率)が低下する恐れがあり、一方、上記の繰り返し周波数が200 kHzよりも高くなると、単位時間内に発生するストリーマ11が増加するために、プラズマ密度は増加するものの、アークが発生しやすくなると共に放電のシュリンク(収縮)が生じて放電空間34の全域での誘電体バリア放電が困難になる恐れがある。

【0041】また、誘電体バリア放電の際に電極2、3間に印加される電界強度は、電極2、3の間隔(ギャップ長)やプラズマ生成用ガスの種類あるいはプラズマ処理の対象物(被処理物)の種類などによっても変化するが、1~200 kV/cmに設定するのが好ましい。この電界強度は(電極2、3間の印加電圧)/(電極2、3の間隔)で定義されるものであって、この値が1 kV/cm未満であれば、誘電体バリア放電のプラズマ密度が低くなってしまいプラズマ処理の能力(効率)が低下する恐れがあり、一方、上記の電界強度が200 kV/cmより大きくなると、アークが発生しやすくなって被処理物4に損傷を与える恐れがある。

【0042】そして、本発明のプラズマ処理装置では、誘電体バリア放電により多数のストリーマ11からなるプラズマを生成し、このプラズマを被処理物4の表面に供給してプラズマ処理を行なうので、グロー放電を発生させるために用いていたHeを不要にすることができ、プラズマ処理にかかるコストを低く抑えることができるものである。また、グロー放電ではなく誘電体バリア放電を利用するので、放電空間34への投入電力を大きくすることが可能となってプラズマ密度を高くすることができ、プラズマ処理の能力を高くすることができるものである。すなわち、グロー放電では電圧の半サイクルに1回だけ電流パルスの形で電流が流れるのに対し、誘電体バリア放電ではストリーマ11に対応する形で多数の

電流パルスが生じる。従って、誘電体バリア放電では投入電力を大きくすることが可能となる。尚、従来のようにグロー放電を用いたプラズマ処理では放電空間34に投入される電力は約 $2\text{ W}/\text{cm}^2$ 程度が限界であったが、本発明では約 $5\text{ W}/\text{cm}^2$ 程度まで放電空間34に電力を供給することができるものである。さらに、本発明では、交番電圧波形の立ち上がり時間と立ち下がり時間の少なくとも一方を $100\mu\text{sec}$ 以下にするので、放電空間34におけるプラズマ密度を高くすることができ、プラズマ処理の能力を高くすることができるものであり、また、ストリーマ11が放電空間34に様に発生し易くなって放電空間34におけるプラズマ密度の均一性を高くすることができ、均一なプラズマ処理を行うことができるものである。

【0043】図2に他の実施の形態を示す。このプラズマ処理装置はインライン方式でプラズマ処理を行うものである。箱形に形成されるチャンパー1は接合部分にリング等のパッキンを設けて気密性が高く形成されるものであって、チャンパー1の内部には電極2、3及び被処理物4の搬送手段としてローラー5が設けられている。チャンパー1の一方の側面は入口7として形成されており、チャンパー1に設けられるインライン型の入口扉21によって、入口7は開閉自在に形成されている。すなわち、入口扉21は空気圧等で上下駆動されるものであって、上駆動されることにより入口7が開放され、下駆動されることにより入口7が閉塞されるのである。また、チャンパー1の他方の側面は入口7と対向する出口8として形成されており、チャンパー1に設けられるインライン型の出口扉22によって、出口8は開閉自在に形成されている。すなわち、出口扉22は空気圧等で上下駆動されるものであって、上駆動されることにより出口8が開放され、下駆動されることにより出口8が閉塞されるのである。さらに、チャンパー1の上面にはガス供給管30が突設されていると共にチャンパー1の下面にはガス排出管31が突設されている。

【0044】チャンパー1はアクリル樹脂等の合成樹脂やステンレス鋼などの金属で形成することもできるが、チャンパー1の内面は上記誘電体32と同様の絶縁物でコーティングするのが好ましい。このようにチャンパー1の内面を絶縁物でコーティングすることによって、電極2、3とチャンパー1の内面との間で放電が起こらないようにすることができ、電極2、3の間の放電効率を高めることができるものであり、プラズマを効率よく生成することができるものである。尚、チャンパー1の外表面も絶縁物でコーティングしてもよい。

【0045】図3に示すように、電極2、3は上記と同様の金属材料で筒状に形成されるものであって、電極2は断面略四角形に、電極3は断面略円形にそれぞれ形成されている。また、電極2、3の内部は冷媒が通過可能な流路33として形成されている。冷媒としては、イオ

ン交換水や純水を使用することができる。イオン交換水や純水を用いることによって、冷媒中に不純物が含まれることがなく、電極2、3が冷媒で腐食されにくくなるものである。また、冷媒としては 0°C で不凍性を有し、且つ電気絶縁性及び不燃性や化学安定性を有する液体であることが好ましく、例えば、電気絶縁性能は 0.1 m 間隔での耐電圧が 10 kV 以上であることが好ましい。この範囲の絶縁性を有する冷媒を用いる理由は、高電圧が印加される電極からの漏電を防止するためである。このような性質を有する冷媒としては、パーフルオロカーボン、ハイドロフルオロエーテル等を例示することができ、また純水にエチレングリコールを5~60重量%添加した混合液であってもよい。さらに冷媒は空気であってもよい。

【0046】そして、誘電体バリア放電中に流路33に冷媒を通すことによって電極2、3を冷却するものであり、このことで、大気圧下あるいはその近傍の圧力下で周波数の高い交番電圧波形の電圧を用いて誘電体バリア放電を発生させても、電極2、3の温度上昇を抑えることができ、プラズマの温度（ガス温度）が高くないようにして被処理物4の熱的損傷を少なくすることができるものである。また、放電空間34の局所的な加熱を防ぐことができ、放電空間34の全域に亘ってより均一にストリーマ11を生成することができるものである。

【0047】上記のように形成される電極2、3はその外面全体を上記と同様の誘電体32で被覆されている。また、電極2、3はその端部をチャンパー1の内面に設けたホルダーに固定することによって、チャンパー1内に複数個ずつ配設されている。電極2は3つあって、入口7と出口8の対向方向に並ぶように配置されており、各電極2はその長手方向が略水平になるように配置されている。電極3は6つあって、入口7と出口8の対向方向に並ぶように電極2の下側に配置されており、各電極3はその長手方向が略水平になるように配置されている。そして、1個の電極2に対して2つの電極3が上下に対向するように電極2、3のそれぞれが所定の間隔を介して並べられており、対向する電極2、3の間の空間（対向スペース）が放電空間34として形成されている。また、図4に示すように電極2、3は電源43に電氣的に接続されていると共に電極3は接地されている。

【0048】ローラー5はポリテトラフルオロエチレン（商標名：テフロン）などの耐熱性の高い合成樹脂を用いて断面円形に形成されている。このローラー5はチャンパー1内に4つあって、隣り合うローラー5、5の間に2本の電極3を介在させるようにして、入口7と出口8の対向方向に並ぶように配置されており、また、各ローラー5はその長手方向が略水平になるように配置されている。さらに、ローラー5の上部は電極3の上部よりも上に位置されている。すなわち、ローラー5はチャンパー1内で且つ電極2、3の間の対向スペース（放電空

間 3 4) 以外の箇所に配置されている。また、各ローラー 5 の一方の端部はチャンバー 1 の側壁を貫通してチャンバー 1 の外側に突出されており、ローラー 5 の端部にはブリー等を用いて駆動伝達ベルト 3 6 が掛架されている。図 5 に示すように、駆動伝達ベルト 3 6 はチャンバー 1 の外側に配設されるモーター等の駆動源 1 0 の回転軸 3 7 に掛架されている。このようにローラー 5 の駆動源 1 0 をチャンバー 1 の外部に設けることによって、チャンバー 1 を小型化することができる。そして、駆動源 1 0 を作動させて回転軸 3 7 を回転させることによつて、駆動伝達ベルト 3 6 が進行し、この駆動伝達ベルト 3 6 の進行によつてローラー 5 が回転駆動されるように形成されている。

【0049】このように形成されるプラズマ処理装置を用いて、回路用基板や液晶用ガラス基板等のピース状(短尺)で板状の被処理物 4 をプラズマ処理するにあたっては、次のようにして行う。まず、矢印 a で示すように、ガス供給管 3 0 を通じてチャンバー 1 内に上記と同様のプラズマ生成用ガスを供給すると共に電源 4 3 により上記と同様の休止時間のない交番電圧波形の電圧を電極 2、3 間に印加することによつて、大気圧下あるいはその近傍の圧力下で放電空間 3 4 に誘電体バリア放電を発生させ、この誘電体バリア放電によりプラズマ生成用ガスをプラズマ化してプラズマ活性種を含む多数のストリーマ 1 1 からなるプラズマを放電空間 3 4 に発生させる。尚、余剰のプラズマ生成用ガスは矢印 b で示すように、ガス排出管 3 1 を通じてチャンバー 1 外に排出される。

【0050】上記のようにして放電空間 3 4 にプラズマを生成した後、駆動源 1 0 を作動させることによりローラー 5 を時計回りに回転駆動させると共に、図 6 (a) に示すように、入口扉 2 1 を上動駆動させてチャンバー 1 の入口 7 を開放し、入口 7 からチャンバー 1 内に被処理物 4 を導入する。チャンバー 1 内に導入された被処理物 4 はローラー 5 の上に載せられ、ローラー 5 の回転駆動により放電空間 3 4 へ搬送される。また、被処理物 4 がチャンバー 1 内に収まると、図 6 (b) に示すように、入口扉 2 1 を下動駆動させてチャンバー 1 の入口 7 を閉塞してチャンバー 1 内を密閉する。そして、図 6 (c) に示すように、チャンバー 1 内に導入された被処理物 4 はローラー 5 で搬送されながら放電空間 3 4 を通過して連続的にプラズマ処理される。この後、被処理物 4 が出口 8 に近づくと、図 6 (d) に示すように、出口扉 2 2 を上動駆動させてチャンバー 1 の出口 8 を開放し、図 6 (e) に示すように、チャンバー 1 の出口 8 からプラズマ処理された被処理物 4 をローラー 5 の回転駆動により導出する。このようにして複数枚の被処理物 4 を連続的に搬送しながらプラズマ処理することができる。

【0051】また、次のような処理方法も採用すること

ができる。上記のようにして放電空間 3 4 にプラズマを生成した後、駆動源 1 0 を作動させることによりローラー 5 を時計回りに回転駆動させると共に、図 6 (a) に示すように、入口扉 2 1 を上動駆動させてチャンバー 1 の入口 7 を開放し、入口 7 からチャンバー 1 内に被処理物 4 を導入する。チャンバー 1 内に導入された被処理物 4 はローラー 5 の上に載せられ、ローラー 5 の回転駆動により放電空間 3 4 内の略中央部に搬送される。また、被処理物 4 が放電空間 3 4 内の略中央部に搬送されると、駆動源 1 0 を停止させることによりローラー 5 の回転駆動を停止し、被処理物 4 の搬送を中断する。次に、図 6 (b) に示すように、入口扉 2 1 を下動駆動させてチャンバー 1 の入口 7 を閉塞してチャンバー 1 内を密閉する。次に、図 6 (c) で示すように、所定の時間だけ被処理物 4 を放電空間 3 4 内に停止させて被処理物 4 にプラズマ処理を施す。次に、図 6 (d) に示すように、出口扉 2 2 を上動駆動させてチャンバー 1 の出口 8 を開放する。次に、駆動源 1 0 を作動させることによりローラー 5 を時計回りに回転駆動させることによつて被処理物 4 の搬送を再開し、図 6 (e) に示すように、チャンバー 1 の出口 8 からプラズマ処理された被処理物 4 を導出する。このようにして被処理物 4 をプラズマ処理装置に供給することによつて、複数枚の被処理物 4 に連続的にプラズマ処理を施すことができる。

【0052】この実施の形態では、被処理物 4 を搬送するための搬送手段としてローラー 5 をチャンバー 1 内にみに設けるので、搬送手段がチャンバー 1 外に大きく突出しないようにすることができ、小型化することができるものである。また、入口 7 と出口 8 の対向方向において複数本のローラー 5 をチャンバー 1 の略全長に亘って並べて設けるので、複数本のローラー 5 で被処理物 4 を略全長に亘って下側から支持してチャンバー 1 内で被処理物 4 が折れ曲がらないようにすることができ、被処理物 4 の搬送及び被処理物 4 のプラズマ処理を良好に行うことができるものである。また、複数個の電極 2 を並べて配置すると共に各電極 2 の下側に複数個の電極 3 を対向するように並べて配置し、ローラー 5 を隣り合う電極 3 の間に配置することによつて、ローラー 5 をチャンバー 1 内で且つ電極 2、3 の間の対向スペース(放電空間 3 4) 以外の箇所に配置することができ、ローラー 5 を電極 2 と電極 3 の間に介在させないようにして電極 2、3 の間に誘電体バリア放電の障害物が存在しないようにすることができるものであり、誘電体バリア放電が安定に起こり、多数のストリーマ 1 1 を放電空間 3 4 の全域に亘ってほぼ均一に発生させることができるものである。しかも、電極 2、3 の間の距離と略同等の厚みを有する厚物の被処理物 4 をプラズマ処理することができるものである。加えて、チャンバー 1 内への被処理物 4 の導入時とチャンバー 1 外への被処理物 4 の導出時のみに入口 7 及び出口 8 を開状態にし、プラズマ処理時には入

口 7 及び出口 8 を閉状態にすることによって、チャンパー 1 からのプラズマ生成用ガスの無駄な流出を最小限に止めることができ、プラズマ生成用ガスを効率よく利用することができるものである。

【0053】図 7 に他の実施の形態を示す。このプラズマ処理装置はシャトル方式でプラズマ処理を行うをものであって、上記と同様に箱形に形成されるチャンパー 1 の一方の側面は出入口 6 として形成されており、チャンパー 1 に設けられるシャトル型の出入口扉 20 によって、出入口 6 は開閉自在に形成されている。すなわち、出入口扉 20 は空気圧等で上下駆動されるものであって、上駆動されることにより出入口 6 が開放され、下駆動されることにより出入口 6 が閉塞されるのである。また、チャンパー 1 の内部には上記と同様の電極 2、3、ローラー 5 が設けられていると共に、チャンパー 1 の外部には上記と同様にして駆動源 10 が設けられている。

【0054】このように形成されるプラズマ処理装置を用いて、回路用基板や液晶用ガラス基板等のピース状

(短尺) で板状の被処理物 4 をプラズマ処理するにあたっては、次のようにして行う。まず、上記と同様にして放電空間 34 で誘電体バリア放電を発生させてプラズマを生成する。次に、駆動源 10 を作動させることによりローラー 5 を時計回りに回転駆動させると共に、図 8

(a) に示すように出入口扉 20 を上動駆動させてチャンパー 1 の出入口 6 を開放し、出入口 6 からチャンパー 1 内に被処理物 4 を導入する。チャンパー 1 内に導入された被処理物 4 はローラー 5 の上に載せられ、ローラー 5 の回転駆動により放電空間 34 へ搬送される。また、被処理物 4 がチャンパー 1 内に収まると、図 8 (b) に示すように、出入口扉 20 を下動駆動させてチャンパー 1 の出入口 6 を閉塞してチャンパー 1 内を密閉する。そして、図 8 (c) に示すように、チャンパー 1 内に導入された被処理物 4 はローラー 5 で出入口 6 と反対側に向かって搬送されながら連続的にプラズマ処理される。この後、被処理物 4 が出入口 6 と反対側に近づくと、ローラー 5 を反時計回りに回転駆動させることによって被処理物 4 を出入口 6 側に向かって搬送する。この時(被処理物 4 を出入口 6 側に向かって搬送している時)、被処理物 4 にプラズマ処理を行っても良いし、行わないようにしても良い。この後、被処理物 4 が出入口 6 に近づくと、図 8 (d) に示すように、出入口扉 20 を上動駆動させてチャンパー 1 の出入口 6 を開放し、プラズマ処理された被処理物 4 をローラー 5 の回転駆動により導出する。このようにして被処理物 4 を搬送しながら連続的にプラズマ処理することができる。

【0055】また、次のような処理方法も採用することができる。上記のようにして放電空間 34 にプラズマを生成した後、駆動源 10 を作動させることによりローラー 5 を時計回りに回転駆動させると共に、図 8 (a) に示すように、出入口扉 20 を上動駆動させてチャンパー

1 の出入口 6 を開放し、出入口 6 からチャンパー 1 内に被処理物 4 を導入する。チャンパー 1 内に導入された被処理物 4 はローラー 5 の上に載せられ、ローラー 5 の回転駆動により放電空間 34 内の略中央部に搬送される。また、被処理物 4 が放電空間 34 内の略中央部に搬送されると、駆動源 10 を停止させることによりローラー 5 の回転駆動を停止し、被処理物 4 の搬送を中断する。次に、図 8 (b) に示すように、出入口扉 20 を下動駆動させてチャンパー 1 の出入口 6 を閉塞してチャンパー 1 内を密閉する。次に、図 8 (c) で示すように、所定の時間だけ被処理物 4 を放電空間 34 内に停止させて被処理物 4 にプラズマ処理を施す。次に、図 8 (d) に示すように、出入口扉 20 を上動駆動させてチャンパー 1 の出入口 6 を開放する。次に、駆動源 10 を作動させることによりローラー 5 を反時計回りに回転駆動させることによって被処理物 4 の搬送を再開し、チャンパー 1 の出入口 6 からプラズマ処理された被処理物 4 を導出する。このようにして被処理物 4 をプラズマ処理装置に供給していくことによって、複数枚の被処理物 4 に連続的にプラズマ処理を施すことができる。

【0056】この実施の形態は上記の実施の形態と同様の効果を有するものであり、加えて、チャンパー 1 内への被処理物 4 の導入時とチャンパー 1 外への被処理物 4 の導出時のみに出入口 6 を開状態にし、プラズマ処理時には出入口 6 を閉状態にすることによって、チャンパー 1 からのプラズマ生成用ガスの無駄な流出を最小限に止めることができ、プラズマ生成用ガスを効率よく利用することができるものである。また、チャンパー 1 の一方の側面に、チャンパー 1 への被処理物 4 の導入及びチャンパー 1 からの被処理物 4 の導出を行うための出入口 6 を設け、被処理物 4 を搬送するためのローラー 5 を正転と反転の両方に回転駆動自在に形成したので、ローラー 5 の正転により出入口 6 からチャンパー 1 内に被処理物 4 を導入すると共にローラー 5 の反転により出入口 6 からチャンパー 1 外へ被処理物 4 を導出することによって、出入口 6 を設けた方のみからチャンパー 1 への被処理物 4 の導入及びチャンパー 1 からの被処理物 4 の導出を行うことができ、プラズマ処理の際にチャンパー 1 の周りに必要なスペースを小さくして省スペース化を図ることができるものである。

【0057】図 9 に他の実施の形態を示す。このプラズマ処理装置のチャンパー 1 は上記と同様に箱形に形成されるものであって、チャンパー 1 の一方の側壁 50 には略水平に長いスリット状の入口 7 が形成されていると共にチャンパー 1 の他方の側壁 51 には略水平に長いスリット状の出口 8 が入口 7 と対向するように形成されている。また、チャンパー 1 の内部には上記と同様の電極 2、3、ローラー 5 が設けられていると共にチャンパー 1 の外部には上記と同様にして駆動源 10 が設けられている。さらに、チャンパー 1 の一方の側壁 50 の外側に

は緩和室 9 として導入側緩和室 9 a が一体に形成されている。導入側緩和室 9 a は入口 7 を囲うようにして形成されるものであって、チャンバー 1 の一方の側壁 5 0 と対向する導入側緩和室 9 a の側壁 5 2 には、略水平に長いスリット状の緩和室導入口 4 0 が入口 7 と対向させて形成されている。また、導入側緩和室 9 a 内にはチャンバー 1 内のローラー 5 と同様に回転駆動自在に形成されたローラー 5 が設けられている。さらに、チャンバー 1 の他方の側壁 5 1 の外側には緩和室 9 として導出側緩和室 9 b が一体に形成されている。導出側緩和室 9 b は出口 8 を囲うようにして形成されるものであって、チャンバー 1 の他方の側壁 5 1 と対向する導出側緩和室 9 b の側壁 5 3 には、略水平に長いスリット状の緩和室導出口 4 1 が出口 8 と対向させて形成されている。また、導入側緩和室 9 b 内にはチャンバー 1 内のローラー 5 と同様に回転駆動自在に形成されたローラー 5 が設けられている。

【0058】このように形成されるプラズマ処理装置を用いて、回路用基板や液晶用ガラス基板等のピース状（短尺）で板状の被処理物 4 をプラズマ処理するにあたっては、次のようにして行う。まず、上記と同様にして放電空間 3 4 で誘電体バリア放電を発生させてプラズマを生成する。次に、駆動源 1 0 を作動させることによりローラー 5 を時計回りに回転駆動させると共に、図 1 0 (a) に示すように、緩和室導入口 4 0 及び入口 7 からチャンバー 1 内に被処理物 4 を導入する。チャンバー 1 内に導入された被処理物 4 はローラー 5 の上に載せられ、ローラー 5 の回転駆動により放電空間 3 4 へ搬送される。そして、図 1 0 (b) に示すように、チャンバー 1 内に導入された被処理物 4 はローラー 5 で搬送されながら放電空間 3 4 を通過して連続的にプラズマ処理される。この後、図 1 0 (c) に示すように、出口 8 及び緩和室導出口 4 1 からプラズマ処理された被処理物 4 をローラー 5 の回転駆動により導出する。このようにして被処理物 4 をプラズマ処理装置に供給していくことによって、複数枚の被処理物 4 に連続的にプラズマ処理を施すことができる。

【0059】また、次のような処理方法も採用することができる。上記のようにして放電空間 3 4 にプラズマを生成した後、駆動源 1 0 を作動させることによりローラー 5 を時計回りに回転駆動させると共に、図 1 0 (a) に示すように、緩和室導入口 4 0 及び入口 7 からチャンバー 1 内に被処理物 4 を導入する。チャンバー 1 内に導入された被処理物 4 はローラー 5 の上に載せられ、ローラー 5 の回転駆動により放電空間 3 4 内の略中央部に搬送される。また、処理物 4 が放電空間 3 4 内の略中央部に搬送されると、図 1 0 (b) に示すように、駆動源 1 0 を停止させることによりローラー 5 の回転駆動を停止し、被処理物 4 の搬送を中断し、所定の時間だけ処理物 4 を放電空間 3 4 内に停止させて被処理物 4 にプラズマ

処理を施す。次に、駆動源 1 0 を作動させることによりローラー 5 を時計回りに回転駆動させることによって被処理物 4 の搬送を再開し、図 1 0 (c) に示すように、出口 8 及び緩和室導出口 4 1 からプラズマ処理された被処理物 4 を導出する。このようにして被処理物 4 をプラズマ処理装置に供給していくことによって、複数枚の被処理物 4 に連続的にプラズマ処理を施すことができる。

【0060】この実施の形態では、入口 7 及び出口 8 を常時開放するスリット状に形成するので、入口 7 及び出口 8 を開閉するための扉や扉を開閉動作させる機構が不要であり、構造を簡素化することができるものである。また、入口 7 及び出口 8 を囲うように緩和室 9 を設けるので、入口 7 及び出口 8 を通じてチャンバー 1 から流出するプラズマ生成用ガスの量を少なくすることができると共に入口 7 及び出口 8 を通じてチャンバー 1 へ流入する外気（空気）の量を少なくすることができ、緩和室 9 によるプラズマ生成用ガスの流出及び外気の流入の緩和作用によって、入口 7 及び出口 8 が常時開放していても、チャンバー 1 内のプラズマ生成用ガスの濃度を略一定に保つことができ均質なプラズマを安定して生成することができると共にチャンバー 1 からのプラズマ生成用ガスの無駄な流出を最小限に止めることができプラズマ生成用ガスを効率よく利用することができるものである。

【0061】尚、上記のいずれの実施の形態においても、電極 2、3 やローラー 5 の個数、ガス供給管 3 0 及びガス排出管 3 1 の位置は任意である。

【0062】

【実施例】以下本発明を実施例によって具体的に説明する。

【0063】（実施例 1）図 1 に示すプラズマ処理装置を用いて被処理物 4 のプラズマ処理を行った。

【0064】電極 2、3 はステンレス鋼（SUS 304）製の平板で形成し、この電極 2、3 を間隔 5 mm で対向配置することにより放電空間 3 4 を形成した。また、電極 2、3 の放電空間 3 4 側の表面には厚み 1 mm で石英ガラス製の誘電体 3 2 を形成した。プラズマ生成用ガスとしては乾燥空気をを用いた。被処理物 4 としては液晶用ガラス（プラズマ処理前の水の接触角度が約 45° のもの）を用いた。

【0065】そして、ノズル 1 2 からプラズマ生成用ガスを吹き出して放電空間 3 4 に導入すると共に電源 4 3 により休止時間のない交番電圧波形の電圧を電極 2、3 間に印加することによって、大気圧下で放電空間 3 4 に誘電体バリア放電を発生させ、この誘電体バリア放電によりプラズマ生成用ガスをプラズマ化してプラズマ活性種を含む多数のストリーマ 1 1 からなるプラズマを放電空間 3 4 に発生させ、この後、放電空間 3 4 に被処理物 4 を導入し、被処理物 4 の表面にプラズマを供給することによって、プラズマ処理（有機物の除去）を行った。

【0066】電極2、3間に印加される休止時間のない交番電圧波形の電圧としては表1に示すものを用い、この電圧を表1に示す条件で電極2、3間に印加した。

【0067】(実施例2~4)電極2、3間に印加される休止時間のない交番電圧波形の電圧として表1に示すものを用い、この電圧を表1に示す条件で電極2、3間に印加した以外は実施例1と同様にしてプラズマ処理を行った。

【0068】(比較例1)プラズマ生成用ガスとしてHeを用いて放電空間34にグロー放電を発生させた以外は実施例1と同様にしてプラズマ処理を行った。

【0069】(比較例2)波形が図20に示す休止時間のある電圧を用いた以外は実施例1と同様にしてプラズマ処理を行った。

【0070】(比較例3)立ち上がり時間が $250\mu\text{sec}$ 、立ち下がり時間が $250\mu\text{sec}$ の休止時間のない交番電圧波形の電圧を用いた以外は実施例1と同様にしてプラズマ処理を行った。

【0071】上記実施例1~4及び比較例1~3について、放電空間34におけるプラズマ密度の均一性、プラズマ処理の均一性、プラズマ処理の能力について評価した。

【0072】放電空間34におけるプラズマ密度の均一性は、放電時の発光強度のバラツキにより評価した。

【0073】プラズマ処理の均一性は、被処理物4の水の接触角度のバラツキにより評価した。

【0074】プラズマ処理の能力は、被処理物4の水の接触角度により評価した。

【0075】結果を表1に示す。

【0076】

【表1】

	実施例1	実施例2	実施例3	実施例4	比較例1	比較例2	比較例3
プラズマ生成用ガス	乾燥空気	乾燥空気	乾燥空気	乾燥空気	He+3%O ₂	乾燥空気	乾燥空気
電圧の波形	正弦波	図17(b)	図17(b)	図17(c)	正弦波	図20	正弦波
立ち上がり時間 (μsec)	5	0.5	0.1	5	5	25	250
立ち下がり時間 (μsec)	5	50	5	0.1	5	25	250
繰り返し周波数 (kHz)	50	10	100	100	50	20	1
電界強度 (kV/cm)	10	20	20	20	2	10	20
投入電力 (kW)	2	2	3	3	1	1	2
放電空間におけるプラズマ密度の均一性	2%以下	2%以下	2%以下	2%以下	1%以下	2%以下	10%以下
プラズマ処理の均一性	5%以下	5%以下	5%以下	5%以下	5%以下	5%以下	10%以下
プラズマ処理の能力	5°以下	5°以下	5°以下	5°以下	5°以下	5°以下	5°以下
プラズマ処理時間(sec)	10	8	2	4	20	15	50

【0077】表1から明らかなように、乾燥空気を用いて発生させた誘電体バリア放電によりプラズマ処理を行った実施例1~4では、10秒以下の非常に短時間のプラズマ処理により被処理物4の水の接触角度を約45°から5°以下にすることができ、ガラスの表面の有機物の除去を短時間で行うことができるものであった。

【0078】これに対して、Heを用いた従来のグロー放電によりプラズマ処理を行った比較例1では、誘電体バリア放電によりプラズマ処理を行った実施例1~4の倍以上の処理時間がかかった。また、パルス状の波形の電圧のみを用いた比較例2においても長時間のプラズマ処理が必要であった。さらに、立ち上がり時間と立ち下がり時間の両方が $100\mu\text{sec}$ を超える交番電圧波形の電圧を用いた比較例3の場合、プラズマ密度の均一性やプラズマ処理の均一性が低く、プラズマ処理に要する時間も非常に長くなった。

【0079】

【発明の効果】上記のように本発明の請求項1の発明は、対向配置された電極の間を放電空間として形成し、対向配置された電極のうち少なくとも一方の電極の放電空間側に誘電体を設け、放電空間にプラズマ生成用ガスを供給すると共に電極間に電圧を印加することによって大気圧近傍の圧力下で放電空間に誘電体バリア放電を発生させるプラズマ処理装置において、電極間に印加する電圧の波形を休止時間のない交番電圧波形とすると共にこの交番電圧波形の立ち上がり時間を $100\mu\text{sec}$ 以下とするので、グロー放電ではない誘電体バリア放電を利用してプラズマ処理を行うことによって、Heが不要となってプラズマ処理にかかるコストを低く抑えることができ、また、放電空間への投入電力を大きくすることが可能となってプラズマ密度を高くすることができ、プラズマ処理の能力を高くすることができるものであり、しかも、立ち上がり時間を $100\mu\text{sec}$ 以下とすることによって、ストリーマが放電空間に一樣に発生し易くなって放電空間におけるプラズマ密度の均一性を高くすることができ、均一なプラズマ処理を行うことができるものである。

【0080】また本発明の請求項2の発明は、対向配置された電極の間を放電空間として形成し、対向配置された電極のうち少なくとも一方の電極の放電空間側に誘電体を設け、放電空間にプラズマ生成用ガスを供給すると共に電極間に電圧を印加することによって大気圧近傍の圧力下で放電空間に誘電体バリア放電を発生させるプラズマ処理装置において、電極間に印加する電圧の波形を休止時間のない交番電圧波形とすると共にこの交番電圧波形の立ち下がり時間を $100\mu\text{sec}$ 以下とするので、グロー放電ではない誘電体バリア放電を利用してプラズマ処理を行うことによって、Heが不要となってプラズマ処理にかかるコストを低く抑えることができ、また、放電空間への投入電力を大きくすることが可能となってプラズマ密度を高くすることができ、プラズマ処理の能力を高くすることができるものであり、しかも、立ち下がり時間を $100\mu\text{sec}$ 以下とすることによって、ストリーマが放電空間に一樣に発生し易くなって放電空間におけるプラズマ密度の均一性を高くすることができ、均一なプラズマ処理を行うことができるものである。

【0081】また本発明の請求項3の発明は、交番電圧波形の繰り返し周波数を $0.5\sim 200\text{kHz}$ にするので、アークや放電の収縮を防止することができると共に誘電体バリア放電のプラズマ密度を高くすることができ、被処理物への損傷や放電不良を防止しながらプラズマ処理の能力を高くすることができるものである。

【0082】また本発明の請求項4の発明は、電極間に印加される電界強度を $1\sim 200\text{kV/cm}$ にするので、アークを防止することができると共に誘電体バリア

放電のプラズマ密度を高くすることができ、被処理物への損傷を防止しながらプラズマ処理の能力を高くすることができるものである。

【0083】また、本発明の請求項5の発明は、電極間に印加する休止時間のない交番電圧波形の電圧にパルス状の高電圧を重畳するので、放電空間内で電子が加速されて高エネルギーの電子を生成することができ、この高エネルギーの電子により放電空間内のプラズマ生成用ガスを効率よく電離、励起させることができ、高密度のプラズマを生成することが可能となり、プラズマ処理の効率を高めることができるものである。

【0084】また、本発明の請求項6の発明は、パルス状の高電圧を交番電圧波形の電圧極性が変化した直後より所定時間経過した後に重畳するので、放電空間内での電子の加速状況を変化させることができ、従って、パルス状の高電圧を電極間に印加するタイミングを変化させることにより、放電空間内でのプラズマ生成用ガスの電離、励起状態を制御することが可能となり、所望のプラズマ処理に適したプラズマ状態を容易に作り出すことができるものである。

【0085】また、本発明の請求項7の発明は、パルス状の高電圧を交番電圧波形の1周期内に複数重畳するので、放電空間内での電子の加速状況を変化させ易くなるものであり、従って、パルス状の高電圧を電極間に印加するタイミングを変化させることにより、放電空間内でのプラズマ生成用ガスの電離、励起状態をより制御しやすくなって、所望のプラズマ処理に適したプラズマ状態をさらに容易に作り出すことができるものである。

【0086】また、本発明の請求項8の発明は、パルス状の高電圧の立ち上がり時間を $0.1\mu\text{sec}$ 以下とするので、放電空間内の電子のみを効率よく加速することができ、放電空間内でプラズマ生成用ガスを効率よく電離、励起することができて高密度のプラズマの生成が可能となり、プラズマ処理の効率を高めることができるものである。

【0087】また、本発明の請求項9の発明は、パルス状の高電圧の波高値を交番電圧波形の最大電圧値以上とするので、放電空間内でプラズマ生成用ガスを効率よく電離、励起することができて高密度のプラズマの生成が可能となり、プラズマ処理の効率を高めることができるものである。

【0088】また、本発明の請求項10の発明は、電極間に印加する休止時間のない交番電圧波形を、複数種の周波数の交番電圧波形を重ね合わせて形成するので、高周波成分の周波数の電圧により、放電空間内の電子が加速されて高エネルギーの電子を生成することができ、この高エネルギーの電子により放電空間内でプラズマ生成用ガスを効率よく電離、励起することができて高密度のプラズマの生成が可能となり、プラズマ処理の効率を高めることができるものである。

【0089】また本発明の請求項11の発明は、請求項1乃至10のいずれかに記載のプラズマ処理装置を用いてプラズマ処理を行うので、グロー放電ではない誘電体バリア放電を利用してプラズマ処理を行うことによって、Heが不要となってプラズマ処理にかかるコストを低く抑えることができ、また、放電空間への投入電力を大きくすることが可能となってプラズマ密度を高くすることができ、プラズマ処理の能力を高くすることができるものであり、しかも、立ち上がり時間や立ち下がり時間を $100\mu\text{scc}$ 以下とすることによって、ストリーマが放電空間に一樣に発生し易くなって放電空間におけるプラズマ密度の均一性を高くすることができ、均一なプラズマ処理を行うことができるものである。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施の形態の一例を示す断面図である。

【図2】同上の他の実施の形態の一例を示す概略図である。

【図3】同上の電極を示す断面図である。

【図4】同上の概略図である。

【図5】同上の概略図である。

【図6】同上の動作を示し、(a)乃至(e)は概略図である。

【図7】同上の他の実施の形態の一例を示す概略図である。

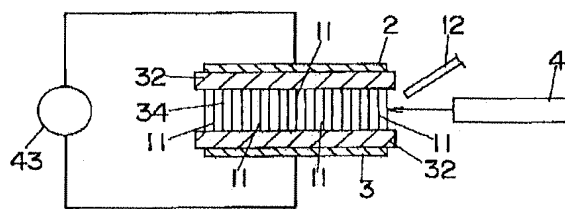
【図8】同上の動作を示し、(a)乃至(d)は概略図である。

【図9】同上の他の実施の形態の一例を示し、(a)は概略図、(b)は側面図である。

【図10】同上の動作を示し、(a)乃至(c)は概略図である。

*

【図1】



- 2...電極
- 3...電極
- 32...誘電体
- 34...放電空間

*【図11】誘電体バリア放電を発生させる電極と誘電体の配置を示し、(a)(b)は断面図である。

【図12】誘電体バリア放電が発生した状態を示す断面図である。

【図13】誘電体バリア放電が発生した状態において、印加電圧とギャップ電流の経時変化を示すグラフである。

【図14】誘電体バリア放電の等価回路を示す回路図である。

10 【図15】誘電体バリア放電が発生した状態において、電源電圧と放電空間（放電ギャップ部）の等価静電容量 C_g とプラズマインピーダンス R_p の経時変化を示すグラフである。

【図16】(a)(b)は電源の極性が反転する状態を示す断面図である。

【図17】(a)(b)(c)は本発明で使用する交番電圧波形の例を示す説明図である。

20 【図18】(a)(b)は本発明で使用する交番電圧波形の電圧にパルス状の高電圧を重畳した状態の波形を示す説明図である。

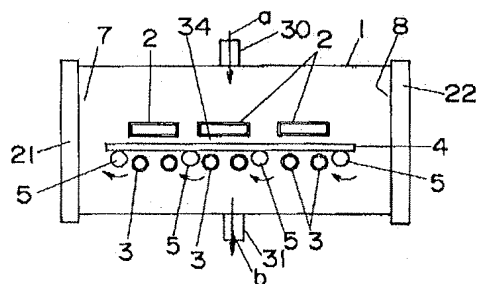
【図19】本発明で使用する交番電圧波形を複数種の周波数の交番電圧波形を重ね合わせて形成した状態の波形を示す説明図である。

【図20】比較例2で使した電圧の波形を示す説明図である。

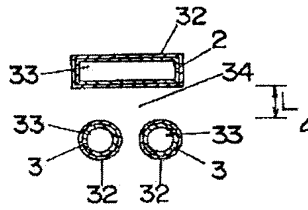
【符号の説明】

- 2 電極
- 3 電極
- 32 誘電体
- 34 放電空間

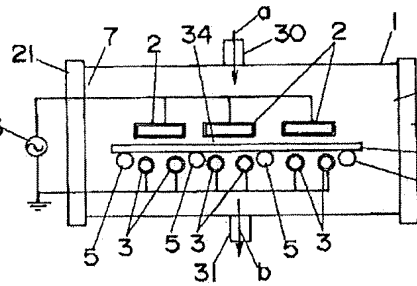
【図2】



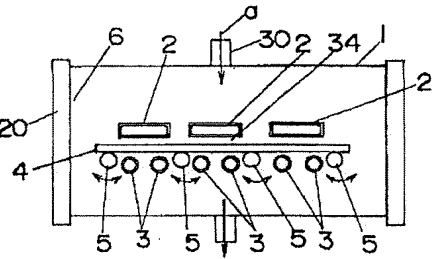
【図 3】



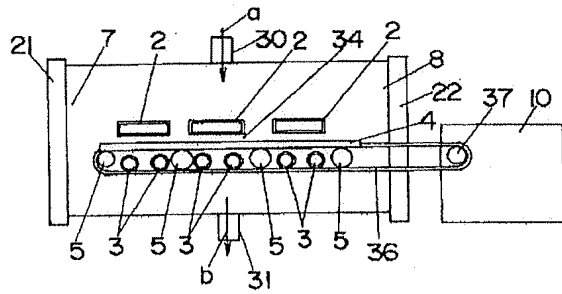
【図 4】



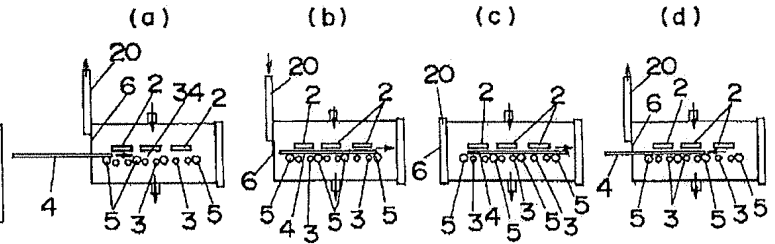
【図 7】



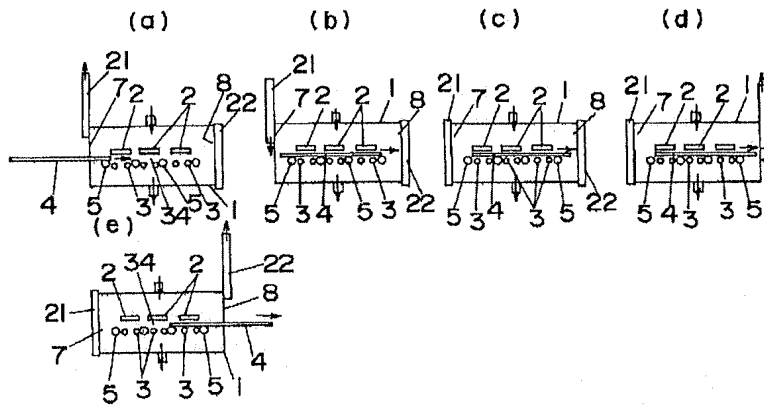
【図 5】



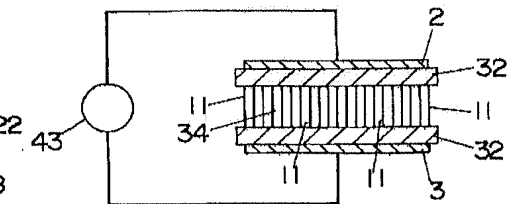
【図 8】



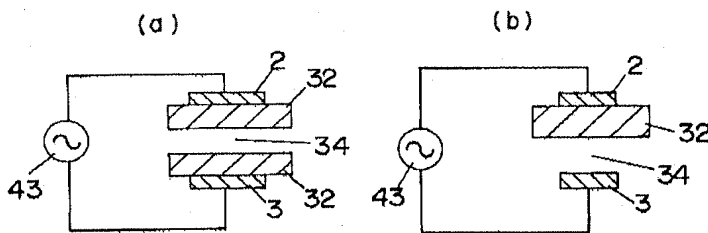
【図 6】



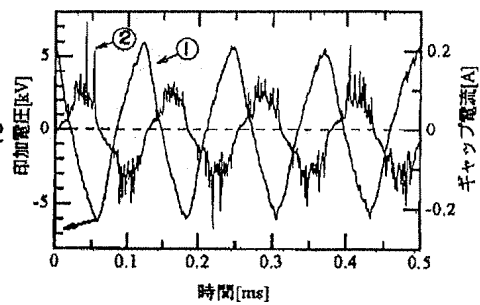
【図 1 2】



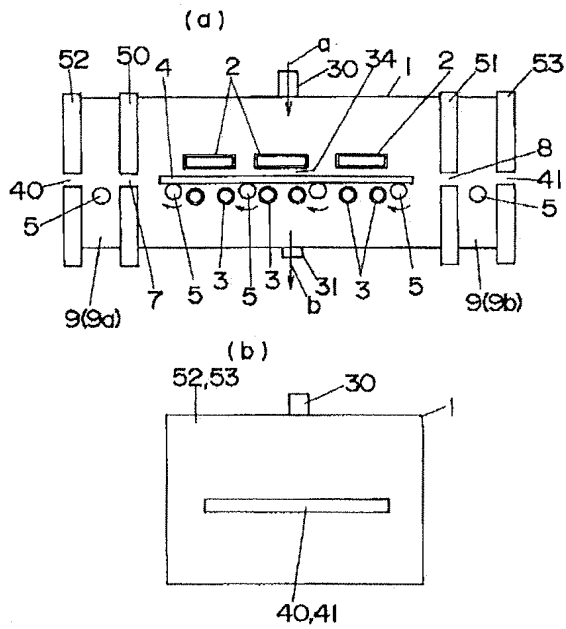
【図 1 1】



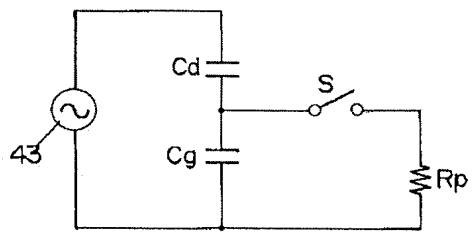
【図 1 3】



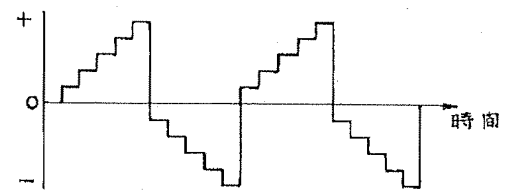
【図 9】



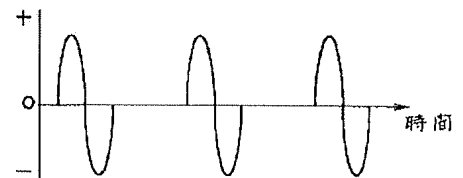
【図 14】



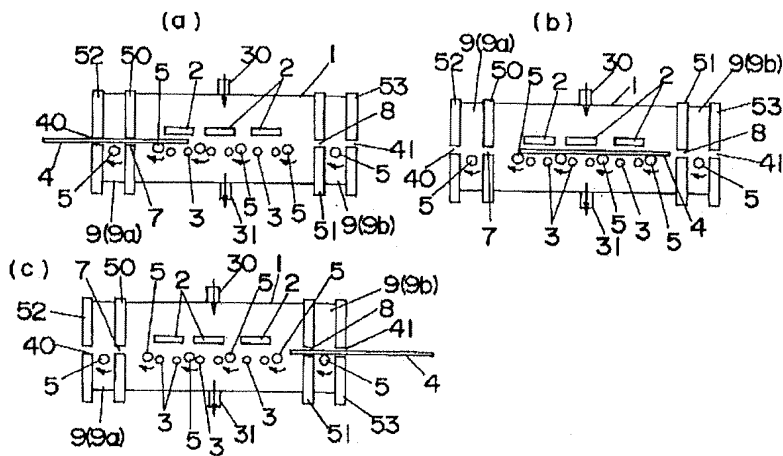
【図 19】



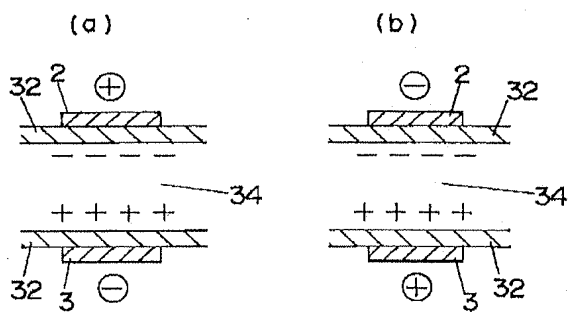
【図 20】



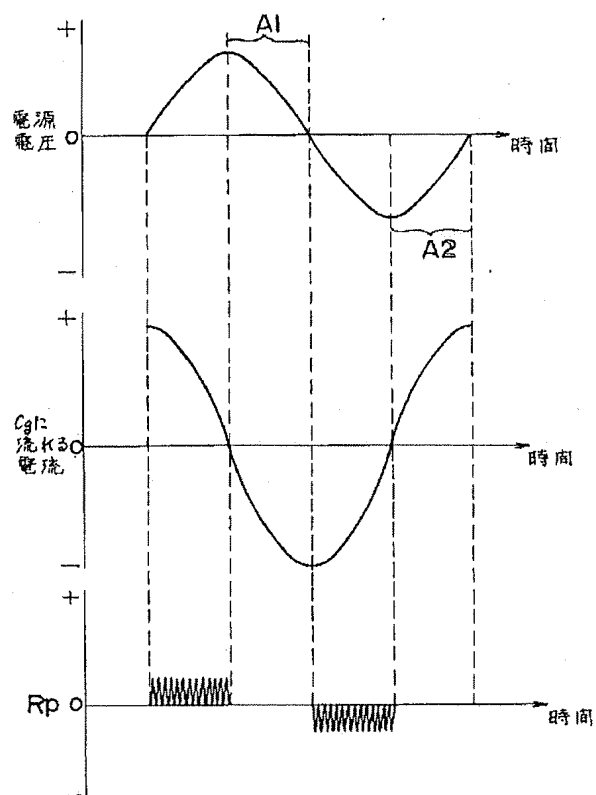
【図 10】



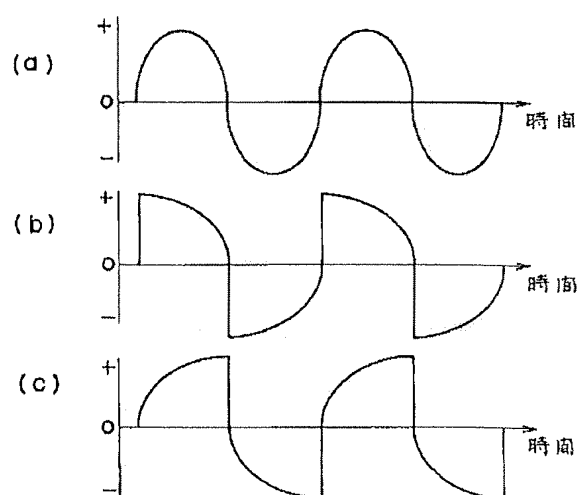
【図 16】



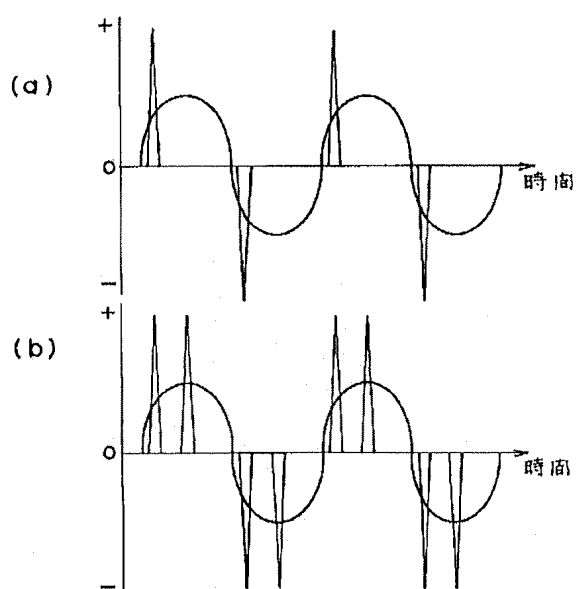
【図15】



【図17】



【図18】



フロントページの続き

- (72) 発明者 澤田 康志
大阪府門真市大字門真1048番地 松下電工
株式会社内
- (72) 発明者 松永 浩一
兵庫県明石市魚住町清水465の1 株式会
社ハイデン研究所内
- (72) 発明者 行村 建
滋賀県守山市守山6丁目1番45号

Fターム(参考) 4G075 AA22 AA24 BC01 BC06 BC10
BD14 BD24 CA14 CA47 DA02
EB01 EB41 EC21 ED04 ED06
FB01
5F004 AA01 AA14 AA16 BA20 BB11
BB24 DA00 DA01 DA23 DA24
DA26 DB01 DB13 DB23
5F045 AA08 BB01 DP23 DQ15

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-058995

(43)Date of publication of application : 26.02.2002

(51)Int.Cl.

B01J 19/08
H01L 21/205
H01L 21/3065
H05H 1/24

(21)Application number : 2000-250285

(71)Applicant : MATSUSHITA ELECTRIC WORKS
LTD
HAIDEN KENKYUSHO:KK

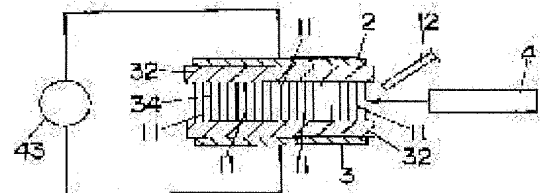
(22)Date of filing : 21.08.2000

(72)Inventor : TAGUCHI NORIYUKI
SAWADA KOJI
MATSUNAGA KOICHI
YUKIMURA KEN

(54) PLASMA TREATING DEVICE AND PLASMA TREATING METHOD

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a plasma treating device capable of reducing a cost, enhancing plasma density and the ability.

SOLUTION: The space between electrodes 2 and 3 arranged to face each other is formed as a discharge space 34. The discharge space 34 side of at least one electrode 2 (or electrode 3) of the electrodes 2 and 3 arranged to face each other is provided with a dielectric substance 32. This plasma treating device generates a dielectric substance barrier discharge in the discharge space 34 at the pressure near to atmospheric pressure by supplying plasma-forming gas to the discharge space 34 and impressing voltage between the electrodes 2 and 3. The waveform of the voltage to be impressed between the electrodes 2 and 3 is specified to an alternating voltage waveform having no quiescent time and the rising time of the alternating voltage waveform is confined to $\leq 100 \mu\text{sec}$.

1 放電空間
 2 電極
 3 電極
 12 気体導入口
 13 放電空間

CLAIMS

[Claim(s)]

[Claim 1] Form between electrodes by which the placed opposite was carried out as discharge space, and a dielectric is provided in the discharge space side of at least one electrode among electrodes by which the placed opposite was carried out, In a plasma treatment apparatus made to generate dielectric barrier discharge in discharge space under a pressure near the atmospheric pressure by supplying gas for plasma production to discharge space, and impressing voltage to inter-electrode, A plasma treatment apparatus making into an alternation voltage waveform without a quiescent period a waveform of voltage impressed to inter-electrode, and making build up time of this alternation voltage waveform less than 100microsec.

[Claim 2] Form between electrodes by which the placed opposite was carried out as discharge space, and a dielectric is provided in the discharge space side of at least one electrode among electrodes by which the placed opposite was carried out, In a plasma treatment apparatus made to generate dielectric barrier discharge in discharge space under a pressure near the atmospheric pressure by supplying gas for plasma production to discharge space, and impressing voltage to inter-electrode, A plasma treatment apparatus making into an alternation voltage waveform without a quiescent period a waveform of voltage impressed to inter-electrode, and making falling time of this alternation voltage waveform less than 100microsec.

[Claim 3] The plasma treatment apparatus according to claim 1 or 2 repeat frequency of an alternation voltage waveform being 0.5–200 kHz.

[Claim 4] The plasma treatment apparatus according to any one of claims 1 to 3 making into 1 – 200 kV/cm field intensity impressed to inter-electrode.

[Claim 5] The plasma treatment apparatus according to any one of claims 1 to 4 superimposing pulse form high tension on voltage of an alternation voltage waveform without a quiescent period impressed to inter-electrode.

[Claim 6] The plasma treatment apparatus according to claim 5 superimposing after carrying out specified time elapse of the pulse form high tension immediately after the voltage-poles nature of an alternation voltage waveform changes.

[Claim 7] The plasma treatment apparatus according to claim 5 or 6 superimposing two or more pulse form high tensions in 1 cycle of an alternation voltage waveform.

[Claim 8] The plasma treatment apparatus according to any one of claims 5 to 7 making build up time of pulse form high tension less than 0.1microsec.

[Claim 9]The plasma treatment apparatus according to any one of claims 5 to 8 making peak value of pulse form high tension more than a maximum voltage value of an alternation voltage waveform.

[Claim 10]The plasma treatment apparatus according to any one of claims 1 to 9 which piles up an alternation voltage waveform of two or more sorts of frequency, forms an alternation voltage waveform without a quiescent period impressed to inter-electrode, and is characterized by things.

[Claim 11]A plasma processing method performing plasma treatment using the plasma treatment apparatus according to any one of claims 1 to 10.

DETAILED DESCRIPTION

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention]Cleaning of foreign matters, such as an organic matter in which this invention exists on the surface of a processed material, It is related with the plasma treatment apparatus for generating the plasma used for plasma treatment, such as exfoliation of resist, an improvement of the adhesion of an organic film, reduction of a metallic oxide, film production, and surface treatment, and the plasma processing method using this.

It is applied to surface cleaning etc. of the electronic parts in which precise junction is demanded especially.

[0002]

[Description of the Prior Art]By conventionally impressing voltage to inter-electrode [by which the placed opposite was carried out], glow discharge is stably generated under atmospheric pressure, and the surface treatment is performed to substrates, such as a patchboard, using the plasma acquired by this glow discharge. For example, to JP,2-15171,A, JP,3-241739,A, or JP,1-306569,A. Provide the electrode of a couple in the discharge space in a reaction vessel, and a dielectric is arranged on the surface by the side of the discharge space of at least one electrode, Discharge space is filled with the gas for plasma production which uses rare gas, such as helium (helium) and Ar (argon), as the main ingredients, alternation voltage is impressed between electrodes, the plasma of the gas for plasma production is generated, and the method of processing the processed material placed into the reaction vessel with this plasma is indicated.

[0003]However, by this method, there was a problem that it was difficult only for the specific region of a processed material to perform plasma treatment, and it started it for a long time as for processing time. Then, it is proposed by spraying the plasma jet (especially active species of plasma) generated by glow discharge under atmospheric pressure on a processed material, and carrying out plasma treatment, and as such a plasma processing method, For example, various kinds of methods are indicated by JP,4-358076,A, JP,3-219082,A, JP,4-212253,A, JP,6-108257,A, etc.

[0004]He is trying to introduce into discharge space the gas for plasma production which contains helium so much in the above plasma processing methods as one method for being stabilized and generating glow discharge under atmospheric pressure. It is made to make supplied power to discharge space small as other methods for being stabilized and generating glow discharge under atmospheric pressure. As other methods for being stabilized and generating glow discharge under atmospheric pressure, to JP,10-154598,A. By impressing pulse form voltage to inter-electrode using special pulse power, the method of being stabilized, generating glow discharge under atmospheric pressure, without using helium, and performing plasma treatment is indicated.

[0005]

[Problem(s) to be Solved by the Invention]However, in the method of introducing into discharge space the gas for plasma production which contains helium so much as mentioned above, there was a problem that expensive helium was indispensable and the cost (running cost) concerning plasma treatment became high. In the method of making supplied power to discharge space small, although generating of an arc is suppressed and the damage to the processed material could be prevented from happening, the density of the plasma generated became low and there was a problem that the capability of plasma treatment was low. In the method indicated to JP,10-154598,A. Although plasma treatment is possible without using helium, since pulse form voltage is impressed to inter-electrode using special pulse power, The glow discharge generated in discharge space turns into pulse form discharge (pulse discharge), the quiescent period of discharge will occur, and thereby, the time average value of plasma density turned into a low value, and had the problem that the capability of plasma treatment was low.

[0006]By making this invention in view of the above-mentioned point, and using dielectric barrier discharge, The cost which becomes unnecessary [helium] and starts plasma treatment can be held down low, It becomes possible to enlarge supplied power to discharge space, plasma density can be made high, and it aims at

providing the plasma treatment apparatus and plasma processing method which can make capability of plasma treatment high.

[0007]

[Means for Solving the Problem] A plasma treatment apparatus concerning claim 1 of this invention, Form between the electrodes 2 and 3 by which the placed opposite was carried out as the discharge space 34, and the dielectric 32 is formed in the discharge space 34 side of at least one electrode 2 (or electrode 3) among the electrodes 2 and 3 by which the placed opposite was carried out, In a plasma treatment apparatus made to generate dielectric barrier discharge in the discharge space 34 under a pressure near the atmospheric pressure by supplying gas for plasma production to the discharge space 34, and impressing voltage between the electrodes 2 and 3, A waveform of voltage impressed between the electrodes 2 and 3 is made into an alternation voltage waveform without a quiescent period, and build up time of this alternation voltage waveform is made less than 100microsec.

[0008] A plasma treatment apparatus concerning claim 2 of this invention, Form between the electrodes 2 and 3 by which the placed opposite was carried out as the discharge space 34, and the dielectric 32 is formed in the discharge space 34 side of at least one electrode 2 (or electrode 3) among the electrodes 2 and 3 by which the placed opposite was carried out, In a plasma treatment apparatus made to generate dielectric barrier discharge in the discharge space 34 under a pressure near the atmospheric pressure by supplying gas for plasma production to the discharge space 34, and impressing voltage between the electrodes 2 and 3, A waveform of voltage impressed between the electrodes 2 and 3 is made into an alternation voltage waveform without a quiescent period, and falling time of this alternation voltage waveform is made less than 100microsec.

[0009] In addition to claim 1 or composition of 2, a plasma treatment apparatus concerning claim 3 of this invention sets repeat frequency of an alternation voltage waveform to 0.5–200 kHz.

[0010] In addition to one composition of claims 1 thru/or 3, a plasma treatment apparatus concerning claim 4 of this invention makes field intensity impressed between the electrodes 2 and 3 1 – 200 kV/cm.

[0011] In addition to one composition of claims 1 thru/or 4, a plasma treatment apparatus concerning claim 5 of this invention superimposes pulse form high tension on voltage of an alternation voltage waveform without a quiescent period impressed between the electrodes 2 and 3.

[0012] A plasma treatment apparatus concerning claim 6 of this invention is

superimposed, after in addition to composition of claim 5 carrying out specified time elapse of the pulse form high tension immediately after the voltage-poles nature of an alternation voltage waveform changes.

[0013]In addition to claim 5 or composition of 6, a plasma treatment apparatus concerning claim 7 of this invention superimposes two or more pulse form high tensions in 1 cycle of an alternation voltage waveform.

[0014]In addition to one composition of claims 5 thru/or 7, a plasma treatment apparatus concerning claim 8 of this invention makes build up time of pulse form high tension less than 0.1microsec.

[0015]In addition to one composition of claims 5 thru/or 8, a plasma treatment apparatus concerning claim 9 of this invention makes peak value of pulse form high tension more than a maximum voltage value of an alternation voltage waveform.

[0016]In addition to one composition of claims 1 thru/or 9, a plasma treatment apparatus concerning claim 10 of this invention piles up an alternation voltage waveform of two or more sorts of frequency, and forms an alternation voltage waveform without a quiescent period impressed between the electrodes 2 and 3.

[0017]A plasma processing method concerning claim 11 of this invention performs plasma treatment using the plasma treatment apparatus according to any one of claims 1 to 10.

[0018]

[Embodiment of the Invention]Hereafter, an embodiment of the invention is described.

[0019]First, the fundamental characteristic of dielectric barrier discharge is explained below (reference: ***** "high-tension plasma engineering" P35 and Maruzen Co., Ltd.). Dielectric barrier discharge carries out the placed opposite of the electrodes (couple) 2 and 3 which make a pair, and forms the discharge space 34 among the electrodes 2 and 3, As shown in drawing 11 (a), form the dielectric (solid dielectric) 32 in the surface by the side of the discharge space 34 of both electrodes 2 and 3, and cover the surface by the side of the discharge space 34 of the electrodes 2 and 3, or, By forming the dielectric (solid dielectric) 32 in the surface by the side of the discharge space 34 of the electrode 2 (it may be the electrode 3), and covering the surface by the side of the discharge space 34 of the electrode 2, as while shows drawing 11 (b), It is a discharge phenomenon produced in the discharge space 34 by changing into the state where discharge was kept from taking place directly between the electrodes 2 and 3, and impressing alternation voltage between the electrodes 2 and 3 according to the power supply 43 in this state. Thus, if the discharge space 34 is filled with an about 1-atmosphere gas and police box high tension is applied between

the electrodes 2 and 3, as shown in drawing 12, in the discharge space 34, the muscle of a countless very thin light will occur uniformly to an electric field and a parallel direction. The muscle of light is based on the streamer 11. Since the electrodes 2 and 3 are covered with the dielectric 32, the electric charge of the streamer 11 flows and does not load the electrodes 2 and 3, but therefore, the electric charge in the discharge space 34 is accumulated in the dielectric 32 of the surface of the electrodes 2 and 3 (this is called wall charge).

[0020] Since the electric field by this wall charge will serve as the alternating electric field and opposite direction which are supplied from the power supply 43 if the polarity of the power supply 43 is reversed from the state of drawing 16 (a) to the state of drawing 16 (b), if wall charge increases, the electric field of the discharge space 34 will fall and dielectric barrier discharge will stop it. However, in the half cycle of the alternation voltage of the following power supply 43, since the direction of the electric field by wall charge and the alternating electric field currently supplied from the power supply 43 is in agreement, dielectric barrier discharge occurs easily. That is, once dielectric barrier discharge begins, the rest can maintain dielectric barrier discharge on comparatively low voltage.

[0021] Since the countless streamer 11 produced in dielectric barrier discharge is the dielectric barrier discharge itself produced in the discharge space 34, the current value which is flowing into the occurrences of the streamer 11 and each streamer 11 influences plasma density. An example of the current/voltage characteristics in dielectric barrier discharge is shown in drawing 13. The current wave form (waveform of gap current) in dielectric barrier discharge is what was superimposed on spike shape current by the current wave form of sine wave shape, and when the streamer 11 occurs, this spike shape current is current which is flowing into the discharge space 34, so that clearly from these current/voltage characteristics. ** in drawing 13 shows the waveform of impressed electromotive force, and ** shows the waveform of gap current, respectively.

[0022] The equivalent circuit of dielectric barrier discharge is shown in drawing 14. Each sign in a figure is as follows.

Cd: The countless streamer 11 generated in the equivalent electric capacity
 Rp: plasma impedance discharge space 34 of the electric capacity
 Cg: discharge space 34 (discharge gap part) of the dielectric 32 of the surface of the electrodes 2 and 3 is equivalent to current flowing into Rp, when ON-OFF [the switch S in a figure]. As stated previously, plasma density is prescribed in equivalent circuit by the current value in the frequency of ON-OFF of the switch S, ON time, and ON time in order to

receive influence in the current value which is flowing into the occurrences of the streamer 11, and each streamer 11.

[0023] Operation of dielectric barrier discharge is briefly explained using this equivalent circuit. The mimetic diagram of the current wave type of the impressed-electromotive-force waveform by the power supply 43, and Cg and Rp is shown in drawing 15. Since the current which flows into Cg is a charge and discharge current of the equivalent capacitor of the discharge space 34, it does not turn into current which determines plasma density. On the other hand, plasma density becomes high, so that the temporal duration and the current value of this current are large, since the current which flows into Rp the moment the switch S turned on is current of streamer 11 itself.

[0024] As mentioned above, dielectric barrier discharge will stop, if wall charge increases and the electric field of the discharge space 34 falls. Therefore, dielectric barrier discharge is not generated in the field (field of A2 of drawing 15) which the impressed electromotive force to the field (field of A1 of drawing 15) or the electrodes 2 and 3 to which the impressed electromotive force to the electrodes 2 and 3 falls exceeding the maximum increases exceeding the minimum. Only the charge and discharge current of a capacitor will flow through a period until the polarity of the alternation voltage impressed by the power supply 43 is reversed. Therefore, when the impressed electromotive force to the time (this is called build up time) or the electrodes 2 and 3 of the field A2 which the impressed electromotive force to the electrodes 2 and 3 increases exceeding the minimum shortens time (this is called falling time) of the field A1 to which it falls exceeding the maximum, Time for dielectric barrier discharge to stop can become short, plasma density can be made high, and capability (efficiency) of plasma treatment can be made high.

[0025] An example of an embodiment of the invention is shown in drawing 1. This plasma treatment apparatus forms between the electrodes 2 and 3 by which the placed opposite was carried out as the discharge space 34, Between the electrodes 2 and 3, connect with the electrodes 2 and 3, and establish the power supply 43 for impressing the voltage of an alternation voltage waveform without a quiescent period, and the dielectric 32 is formed in the discharge space 34 side of both electrodes 2 and 3, It is formed by allocating the nozzle 12 for furthermore supplying the gas for plasma production to the discharge space 34 in the side of the electrodes 2 and 3.

[0026] The electrodes 2 and 3 are formed in tabular with metallic materials, such as copper, aluminum, brass, and corrosion-resistant high stainless steel. The dielectric 32 is what is formed tabular or filmy with dielectric materials (insulating material), As

dielectric materials, a dielectric constant can use 2000 or less thing, Vitreous materials and the charges of a ceramic material, such as porcelain enamel, quartz, alumina, and a yttria partial stabilization zirconium, Alumina ($\text{aluminum}_2\text{O}_3$), titanium oxide (it is TiO_2 at a titania), The material containing SiO_2 , AlN , Si_3N_4 , SiC , DLC (diamond Mr. carbon coat), barium titanate, PZT (lead titanate zirconate), a magnesia (MgO) simple substance, or magnesia can be illustrated.

[0027]In forming such a dielectric 32 in the surface of the electrodes 2 and 3, and covering it (it coats), How to paste the surface of the electrodes 2 and 3 and to stick the dielectric 32 formed in tabular, And powder, such as alumina, barium titanate, titanium oxide, and PZT, is distributed in plasma, The plasma spray process it is made to spray on the surface of the electrodes 2 and 3, and silica, A solvent etc. distribute inorganic powder, such as tin oxide, a titania, zirconia, and alumina, After spraying and covering with a spray etc. on the surface of the electrodes 2 and 3, what is called a porcelain enamel coating method that carries out melting at the temperature of not less than 600 **, the formation method of the glassiness film by a sol gel process, etc. are employable. The surface of the electrodes 2 and 3 can also be coated with gaseous phase vacuum deposition (CVD) or physical vapor deposition (PVD).

[0028]When forming the dielectric 32 with porcelain enamel, the formation method of the porcelain enamel currently performed from the former can be used as it is, For example, the method indicated to a glass handbook (Asakura Publishing, 1991.4.10, the 12th **, p191-196), a practical use surface treatment technical conspectus (the volume for technical material research associations, the 1993.3.25 first edition, p731), etc. is employable. carrying out spray credit of the cover coat which uses inorganic powder (vitreous material), such as silica, tin oxide, a titania, zirconia, and alumina, as a raw material to the surface of the electrodes 2 and 3, or specifically soaking it in it almost (dipping) -- etc. -- it supplying, and the coat of a cover coat being formed in the surface of the electrodes 2 and 3, and after this, It can form by heat-treating for 1 to 15 minutes at the temperature of 480-1000 **, and welding inorganic powder to the surface of the electrodes 2 and 3.

[0029]As for the thickness of the dielectric 32, it is preferred to use 0.1-2 mm. If the thickness of the dielectric 32 is less than 0.1 mm, when there will be a possibility that the dielectric breakdown of the dielectric 32 may occur and dielectric barrier discharge may not arise and the thickness of the dielectric 32 will exceed 2 mm, there is a possibility that firing potential may become high and the operation start of a device may take a long time.

[0030]Thus, the electrodes 2 and 3 can be protected from the sputtering action of the

plasma which the above dielectric barrier discharge can be generated by forming the dielectric 32 in the surface of the electrodes 2 and 3, and consists of many streamers 11, or the corrosive action of the gas for plasma production, Degradation of the electrodes 2 and 3 can be lessened, and even if an impurity can be prevented from being generated from the electrodes 2 and 3 and it is prolonged use, it can avoid polluting a processed material from an impurity.

[0031]As gas for plasma production, air and the dry air which hardly contains moisture preferably can be used. Since the dielectric barrier discharge which is not glow discharge is used in this invention, there is no necessity of using special gas, such as rare gas, and the cost concerning plasma treatment can be held down low. Rare gas other than helium or rare gas other than helium, and the gaseous mixture of reactant gas can be used as gas for plasma production for the reason of it being stabilized and generating dielectric barrier discharge. As rare gas, although argon, neon, krypton, etc. can be used, when the stability and economical efficiency of discharge are taken into consideration, it is preferred to use argon. Thus, since the dielectric barrier discharge which is not glow discharge is used in this invention, there is no necessity of using helium as rare gas, and the cost concerning plasma treatment can be held down low. The kind of reactant gas can be arbitrarily chosen according to the contents of processing. For example, when performing cleaning of the organic matter which exists on the surface of a processed material, exfoliation of resist, etching of an organic film, surface cleaning of LCD, surface cleaning of a glass plate, etc., it is preferred to use oxidizing gases, such as oxygen, air, CO_2 , and N_2O . When fluorine system gas, such as CF_4 , can also be suitably used as reactant gas and it etches silicon etc., it is effective to use this fluorine system gas. When returning a metallic oxide, reducing gas, such as hydrogen and ammonia, can be used. The addition of reactant gas of below 10 volume % is the range of 0.1 – 5 volume % preferably to the whole quantity of rare gas. If the addition of reactant gas is less than 0.1 volume %, when there will be a possibility that a treatment effect may become low and the addition of reactant gas will exceed 10 volume %, there is a possibility that dielectric barrier discharge may become unstable.

[0032]In carrying out plasma treatment of the tabular processed material 4 using the plasma treatment apparatus formed in this way by the shape of piece, such as a substrate for circuits, and a glass substrate for liquid crystals (short length), it carries out as follows. First, by impressing the voltage of an alternation voltage waveform which blow off the gas for plasma production from the nozzle 12, and it introduces into the discharge space 34, and does not have a quiescent period by the power supply 43

between the electrodes 2 and 3, The discharge space 34 is made to generate dielectric barrier discharge under atmospheric pressure or the pressure of the neighborhood (93.3 – 106.7kPa (700 – 800Torr)), The discharge space 34 is made to generate the plasma which consists of the streamer 11 of a large number which plasma-ize the gas for plasma production by this dielectric barrier discharge, and include plasma active species. Then, plasma treatment can be performed by introducing the processed material 4 into the discharge space 34 at drawing 1, as an arrow shows, and supplying plasma to the surface of the processed material 4.

[0033]As voltage of an alternation voltage waveform without a quiescent period, the wave-like voltage of a sine wave can be used, for example. The voltage of an alternation voltage waveform without a quiescent period as shown in drawing 17 (a), (b), and (c) can also be used. And in this invention, even if there are little the build up time and falling time of this alternation voltage waveform, on the other hand, both are preferably made less than 100microsec. If both build up time and falling time are more than 100microsec, Plasma density in the discharge space 34 cannot be made high, the capability of plasma treatment becomes low, and it becomes difficult to generate the streamer 11 in the discharge space 34 uniformly, and it becomes impossible to perform uniform plasma treatment. Since build up time and falling time are so preferred that they are short, a minimum in particular is not set up, but it is 40 ns which can shorten build up time and falling time most with the power supply 43 which can be obtained now, and this serves as a substantial minimum. However, if build up time and falling time shorter than 40 ns are realizable with prospective technical development, it is preferred to use time shorter than 40 ns.

[0034]In this invention, as shown in drawing 18 (a), it may impress and carry out between the electrodes 2 and 3 so that pulse form high tension may be superimposed on the voltage of an alternation voltage waveform without the quiescent period impressed between the electrodes 2 and 3. Thus, by superimposing pulse form high tension on the voltage of an alternation voltage waveform, An electron is accelerated in the discharge space 34 and the electron of high energy can be generated, It becomes possible to be able to ionize and excite efficiently the gas for plasma production in the discharge space 34 with the electron of this high energy, and to generate high-density plasma, and the efficiency of plasma treatment can be raised.

[0035]Thus, when pulse form high tension is superimposed on the voltage of an alternation voltage waveform, It can be preferred to change time to impress [to superimpose, after carrying out specified time elapse of the pulse form high tension immediately after the voltage-poles nature of an alternation voltage waveform

changes and] the pulse form high tension to superimpose, and, thereby, it can change the acceleration situation of the electron in the discharge space 34. Therefore, by changing the timing which impresses pulse form high tension between the electrodes 2 and 3, it becomes possible to control ionization of the gas for plasma production in the discharge space 34, and an excitation state, and the plasma state suitable for desired plasma treatment can be made easily.

[0036]As shown in drawing 18 (b), two or more pulse form high tensions may be superimposed in 1 cycle of an alternation voltage waveform, and, thereby, it carries out that it is easier to change the acceleration situation of the electron in the discharge space 34 than the case of drawing 18 (a). Therefore, by changing the timing which impresses pulse form high tension between the electrodes 2 and 3, it becomes easier to control ionization of the gas for plasma production in the discharge space 34, and an excitation state, and the plasma state suitable for desired plasma treatment can be made still more easily.

[0037]As for the build up time of pulse form high tension, it is preferred to use less than 0.1microsec. When the build up time of pulse form high tension exceeds 0.1microsec, it becomes possible to follow and move to pulse form voltage, and the ion in the discharge space 34 also has a possibility that it may become impossible to accelerate only an electron efficiently. Therefore, by making build up time of pulse form high tension less than 0.1microsec, the gas for plasma production can be efficiently ionized and excited in the discharge space 34, generation of high-density plasma is attained, and the efficiency of plasma treatment can be raised.

[0038]As for the peak value of pulse form high tension, it is preferred to use more than the maximum voltage value of an alternation voltage waveform. When the peak value of pulse form high tension is less than the maximum voltage value of an alternation voltage waveform, the crowdedness effect of pulse form high tension will become low, and it will be in the almost same plasma state as the case where pulse form voltage is not superimposed. Therefore, by using more than the maximum voltage value of an alternation voltage waveform, the peak value of pulse form high tension can ionize and excite the gas for plasma production efficiently in the discharge space 34, and the generation of high-density plasma of it is attained, and it can raise the efficiency of plasma treatment.

[0039]The alternation voltage waveform without the quiescent period impressed between the electrodes 2 and 3 of this invention, It is preferred to pile up and form the alternation voltage waveform of two or more sorts of frequency, and to make it a waveform like drawing 19, and by this, The electron in the discharge space 34 is

accelerated with the voltage of the frequency of a high frequency component, and the electron of high energy can be generated, The gas for plasma production can be efficiently ionized and excited in the discharge space 34 with the electron of this high energy, generation of high-density plasma is attained, and the efficiency of plasma treatment can be raised.

[0040]As for the repeat frequency of the voltage of an alternation voltage waveform without the quiescent period impressed between the electrodes 2 and 3, it is preferred to set it as 0.5–200 kHz. Since the occurrences of the streamer 11 within unit time will decrease if this repeat frequency is less than 0.5 kHz, If there is a possibility that the plasma density of dielectric barrier discharge may become low, and the capability (efficiency) of plasma treatment may decline and the above-mentioned repeat frequency becomes higher than 200 kHz on the other hand, Since the streamer 11 generated in unit time increases, although plasma density increases, it becomes easy to generate an arc and there is a possibility that the shrink (contraction) of discharge may arise and the dielectric barrier discharge in the whole region of the discharge space 34 may become difficult.

[0041]Although the field intensity impressed between the electrodes 2 and 3 in the case of dielectric barrier discharge changes with the interval (gap length) of the electrodes 2 and 3, the kinds of gas for plasma production or the kinds of subject (processed material) of plasma treatment, etc., it is preferred to set [cm] up in 1–200kV /. This field intensity is defined by (impressed electromotive force between electrodes 2 and 3)/(interval of the electrodes 2 and 3), and if this value is less than 1 kV/cm, There is a possibility that the plasma density of dielectric barrier discharge may become low, and the capability (efficiency) of plasma treatment may decline, and when the above-mentioned field intensity becomes larger than 200 kV/cm on the other hand, there is a possibility of becoming easy to generate an arc and doing damage to the processed material 4.

[0042]And since the plasma which consists of many streamers 11 by dielectric barrier discharge is generated in the plasma treatment apparatus of this invention, this plasma is supplied to the surface of the processed material 4 and plasma treatment is performed, helium used in order to generate glow discharge can be made unnecessary, and the cost concerning plasma treatment can be held down low. It is not glow discharge, and since dielectric barrier discharge is used, it can become possible to enlarge supplied power to the discharge space 34, plasma density can be made high, and capability of plasma treatment can be made high. That is, in glow discharge, many current pulses arise in the form corresponding to the streamer 11 at dielectric barrier

discharge to current flowing into the half cycle of voltage in the form of a current pulse only once. Therefore, in dielectric barrier discharge, it becomes possible to enlarge supplied power. The electric power supplied to the discharge space 34 by the plasma treatment using glow discharge like before can supply electric power to the discharge space 34 to an about $5\text{W}/[\text{cm}]^2$ grade in this invention, although the about $2\text{W}/\text{cm}^2$ grade was a limit. In this invention, since at least one side of the build up time and falling time of an alternation voltage waveform is made less than 100microsec, It is what can make high plasma density in the discharge space 34, and can make capability of plasma treatment high, It becomes easy to generate the streamer 11 in the discharge space 34 uniformly, homogeneity of the plasma density in the discharge space 34 can be made high, and uniform plasma treatment can be performed.

[0043]Other embodiments are shown in drawing 2. This plasma treatment apparatus performs plasma treatment by an in-line method. The chamber 1 formed in a cube type forms packing, such as an O ring, in a joining section, airtightness is formed highly, and the roller 5 is formed in the inside of the chamber 1 as a transportation means of the electrodes 2 and 3 and the processed material 4. One side of the chamber 1 is formed as the entrance 7, and the entrance 7 is formed of the inlet door 21 of the inline type provided in the chamber 1, enabling free opening and closing. That is, the entrance 7 is blockaded, when a slide drive is carried out by pneumatic pressure etc., the entrance 7 is wide opened by upper-driving and the inlet door 21 lower-drives. The side of another side of the chamber 1 is formed as the entrance 7 and the exit 8 which counters, and the exit 8 is formed of the outlet door 22 of the inline type provided in the chamber 1, enabling free opening and closing. That is, the exit 8 is blockaded, when a slide drive is carried out by pneumatic pressure etc., the exit 8 is wide opened by upper-driving and the outlet door 22 lower-drives. The gas supply line 30 protrudes on the upper surface of the chamber 1, and the gas exhausting pipe 31 protrudes on the undersurface of the chamber 1.

[0044]As for the inner surface of the chamber 1, although the chamber 1 can also be formed with metal, such as synthetic resins, such as an acrylic resin, and stainless steel, it is preferred to coat with the same insulating material as the above-mentioned dielectric 32. Thus, by coating the inner surface of the chamber 1 with an insulating material, Discharge can be prevented from happening between the electrodes 2 and 3 and the inner surface of the chamber 1, the discharge efficiency between the electrodes 2 and 3 can be raised, and plasma can be generated efficiently. The outside surface of the chamber 1 may also be coated with an insulating material.

[0045]As shown in drawing 3, the electrodes 2 and 3 are formed in tubed with the

same metallic material as the above, the electrode 2 is formed in a section abbreviation quadrangle, and the electrode 3 is formed in section approximate circle type, respectively. The inside of the electrodes 2 and 3 is formed as the channel 33 which can pass a refrigerant. Ion exchange water and pure water can be used as a refrigerant. By using ion exchange water and pure water, an impurity is not contained in a refrigerant and the electrodes 2 and 3 become is hard to be corroded by the refrigerant. It is preferred that it is a fluid which has nonfreezing at 0 ** as a refrigerant, and has electric insulation, and incombustibility and chemical stability, for example, as for electric insulation performance, it is preferred that the withstand voltage spaced at 0.1 mm is not less than 10 kV. The reason for using the refrigerant which has the insulation of this range is for preventing the fault current from the electrode to which high tension is impressed. It may be the mixed liquor which could illustrate perfluorocarbon, hydro-fluoroether, etc. and added ethylene glycol five to 60% of the weight to pure water as a refrigerant which has such character. Furthermore, a refrigerant may be air.

[0046]And by letting a refrigerant pass during dielectric barrier discharge in the channel 33, cool the electrodes 2 and 3 and by this. Even if it generates dielectric barrier discharge using the voltage of an alternation voltage waveform with high frequency under atmospheric pressure or the pressure of the neighborhood, As the rise in heat of the electrodes 2 and 3 can be suppressed and the temperature (gas temperature) of plasma does not become high, thermally damaging of the processed material 4 can be lessened. Local heating of the discharge space 34 can be prevented, it can continue throughout the discharge space 34, and the streamer 11 can be generated more to homogeneity.

[0047]The electrodes 2 and 3 formed as mentioned above are covered with the same dielectric 32 as the above in the whole outside surface. Two or more electrodes 2 and 3 are allocated every in the chamber 1 by fixing the end to the electrode holder provided in the inner surface of the chamber 1. There are the three electrodes 2, it is arranged so that it may rank with the direction opposing of the entrance 7 and the exit 8, and each electrode 2 is arranged so that the longitudinal direction may become an abbreviated level. There are the six electrodes 3, it is arranged at the electrode 2 bottom so that it may rank with the direction opposing of the entrance 7 and the exit 8, and each electrode 3 is arranged so that the longitudinal direction may become an abbreviated level. And each of the electrodes 2 and 3 is put in order via the predetermined interval so that the two electrodes 3 may counter up and down to the one electrode 2, and the space (opposite space) between the electrodes 2 and 3

which counter is formed as the discharge space 34. As shown in drawing 4, the electrodes 2 and 3 are electrically connected to the power supply 43, and the electrode 3 is grounded.

[0048]The roller 5 is formed in the round cross section using heat-resistant high synthetic resins, such as polytetrafluoroethylene (brand name: Teflon). As this roller 5 is in [four] the chamber 1 and the two electrodes 3 are made to intervene among the adjacent rollers 5 and 5, it is arranged so that it may rank with the direction opposing of the entrance 7 and the exit 8, and each roller 5 is arranged so that that longitudinal direction may become an abbreviated level. The upper part of the roller 5 is located above the upper part of the electrode 3. That is, the roller 5 is in the chamber 1, and is arranged in parts other than the opposite space (discharge space 34) between the electrodes 2 and 3. One end of each roller 5 penetrates the side attachment wall of the chamber 1, and is projected by the outside of the chamber 1, and the drive transmission belt 36 is passed over the end of the roller 5 using the pulley etc. As shown in drawing 5, the drive transmission belt 36 is passed over the axis of rotation 37 of the driving sources 10, such as a motor allocated by the outside of the chamber 1. Thus, the chamber 1 can be miniaturized by forming the driving source 10 of the roller 5 in the exterior of the chamber 1. And by operating the driving source 10 and rotating the axis of rotation 37, the drive transmission belt 36 runs, and it is formed so that the roller 5 may rotate according to advance of this drive transmission belt 36.

[0049]In carrying out plasma treatment of the tabular processed material 4 using the plasma treatment apparatus formed in this way by the shape of piece, such as a substrate for circuits, and a glass substrate for liquid crystals (short length), it carries out as follows. First, by impressing the voltage of an alternation voltage waveform which the same gas for plasma production as the above is supplied in the chamber 1 through the gas supply line 30 as the arrow a shows, and does not have the same quiescent period as the above by the power supply 43 between the electrodes 2 and 3, The discharge space 34 is made to generate dielectric barrier discharge under atmospheric pressure or the pressure of that neighborhood, and the discharge space 34 is made to generate the plasma which consists of the streamer 11 of a large number which plasma-ize the gas for plasma production by this dielectric barrier discharge, and include plasma active species. The excessive gas for plasma production is discharged out of the chamber 1 through the gas exhausting pipe 31, as the arrow b shows.

[0050]After generating plasma to the discharge space 34 as mentioned above, make the roller 5 rotate clockwise by operating the driving source 10, and. As shown in

drawing 6 (a), the inlet door 21 is made to upper-*****, the entrance 7 of the chamber 1 is opened wide, and the processed material 4 is introduced in the chamber 1 from the entrance 7. The processed material 4 introduced in the chamber 1 is carried on the roller 5, and is conveyed by rotation of the roller 5 to the discharge space 34. If the processed material 4 is settled in the chamber 1, as shown in drawing 6 (b), the downward moving drive of the inlet door 21 will be carried out, the entrance 7 of the chamber 1 will be blockaded, and the inside of the chamber 1 will be sealed. And as shown in drawing 6 (c), being conveyed with the roller 5, the processed material 4 introduced in the chamber 1 passes through the discharge space 34, and plasma treatment is carried out continuously. Then, as shown in drawing 6 (d), the outlet door 22 will be made to upper-*****, the exit 8 of the chamber 1 will be opened wide, and if the processed material 4 approaches the exit 8, as shown in drawing 6 (e), the processed material 4 by which plasma treatment was carried out from the exit 8 of the chamber 1 will be derived by rotation of the roller 5. Thus, plasma treatment can be carried out, conveying continuously the processed material 4 of two or more sheets.

[0051]The following disposal methods are also employable. After generating plasma to the discharge space 34 as mentioned above, make the roller 5 rotate clockwise by operating the driving source 10, and. As shown in drawing 6 (a), the inlet door 21 is made to upper-*****, the entrance 7 of the chamber 1 is opened wide, and the processed material 4 is introduced in the chamber 1 from the entrance 7. The processed material 4 introduced in the chamber 1 is carried on the roller 5, and is conveyed by rotation of the roller 5 by the approximately center part in the discharge space 34. If the processed material 4 is conveyed by the approximately center part in the discharge space 34, by stopping the driving source 10, rotation of the roller 5 will be stopped and conveyance of the processed material 4 will be interrupted. Next, as shown in drawing 6 (b), the downward moving drive of the inlet door 21 is carried out, the entrance 7 of the chamber 1 is blockaded, and the inside of the chamber 1 is sealed. Next, as drawing 6 (c) shows, only predetermined time stops the treatment object 4 in the discharge space 34, and performs plasma treatment to the processed material 4. Next, as shown in drawing 6 (d), the outlet door 22 is made to upper-***** and the exit 8 of the chamber 1 is opened. Next, by operating the driving source 10, by making the roller 5 rotate clockwise, conveyance of the processed material 4 is resumed, and as shown in drawing 6 (e), the processed material 4 by which plasma treatment was carried out from the exit 8 of the chamber 1 is derived. Thus, by supplying the processed material 4 to a plasma treatment

apparatus, plasma treatment can be continuously performed to the processed material 4 of two or more sheets.

[0052]According to this embodiment, since the roller 5 is formed only in the chamber 1 as a transportation means for conveying the processed material 4, out of the chamber 1, a transportation means can project greatly, and can twist, and it can be made like, and can miniaturize. Since the abbreviated overall length of the chamber 1 is covered, and two or more rollers 5 are put in order and formed in the direction opposing of the entrance 7 and the exit 8, An abbreviated overall length is covered in the processed material 4 with two or more rollers 5, it supports from the bottom, the processed material 4 can be prevented from bending within the chamber 1, and conveyance of the processed material 4 and plasma treatment of the processed material 4 can be performed good. By arranging two or more electrodes 2 side by side, and arranging and arranging so that each electrode 2 bottom may be countered in two or more electrodes 3, and arranging the roller 5 between the adjacent electrodes 3, It is in the chamber 1 and the roller 5 can be arranged in parts other than the opposite space (discharge space 34) between the electrodes 2 and 3, It is a thing the obstacle of dielectric barrier discharge can be prevented from existing among the electrodes 2 and 3 as the roller 5 is not made to intervene between the electrode 2 and the electrode 3, Dielectric barrier discharge happens stably, it can continue throughout the discharge space 34 and many streamers 11 can be generated almost uniformly. And plasma treatment of the processed material 4 of the thick material which has the distance between the electrodes 2 and 3 and the thickness of an abbreviated EQC can be carried out. In addition, by making the entrance 7 and the exit 8 into an opened state only at the time of introduction of the processed material 4 into the chamber 1, and derivation of the processed material 4 to the outside of the chamber 1, and making the entrance 7 and the exit 8 into a closed state at the time of plasma treatment, The useless outflow of the gas for plasma production from the chamber 1 can be stopped to the minimum, and the gas for plasma production can be used efficiently.

[0053]Other embodiments are shown in drawing 7. This plasma treatment apparatus is a thing about **** in plasma treatment in a shuttle system, one side of the chamber 1 formed in a cube type like the above is formed as the entrance 6, and the entrance 6 is formed of the shuttle type entrance door 20 provided in the chamber 1, enabling free opening and closing. That is, the entrance 6 is blockaded, when a slide drive is carried out by pneumatic pressure etc., the entrance 6 is wide opened by upper-driving and the entrance door 20 lower-drives. The same electrodes 2 and 3 as

the above and the roller 5 are formed in the inside of the chamber 1, and the driving source 10 is formed in the exterior of the chamber 1 like the above.

[0054]In carrying out plasma treatment of the tabular processed material 4 using the plasma treatment apparatus formed in this way by the shape of piece, such as a substrate for circuits, and a glass substrate for liquid crystals (short length), it carries out as follows. First, dielectric barrier discharge is generated like the above in the discharge space 34, and plasma is generated. Next, the roller 5 is made to rotate clockwise by operating the driving source 10, and as shown in drawing 8 (a), the entrance door 20 is made to upper-*****, the entrance 6 of the chamber 1 is opened wide, and the processed material 4 is introduced in the chamber 1 from the entrance 6. The processed material 4 introduced in the chamber 1 is carried on the roller 5, and is conveyed by rotation of the roller 5 to the discharge space 34. If the processed material 4 is settled in the chamber 1, as shown in drawing 8 (b), the downward moving drive of the entrance door 20 will be carried out, the entrance 6 of the chamber 1 will be blockaded, and the inside of the chamber 1 will be sealed. And as shown in drawing 8 (c), plasma treatment of the processed material 4 introduced in the chamber 1 is carried out continuously, being conveyed toward the entrance 6 and an opposite hand with the roller 5. Then, if the processed material 4 approaches the entrance 6 and an opposite hand, the processed material 4 will be conveyed toward the entrance 6 side by making the roller 5 rotate counter clockwise. At this time, plasma treatment may be performed to the processed material 4 (while conveying the processed material 4 toward the entrance 6 side), and it may not be made not to carry out. Then, if the processed material 4 approaches the entrance 6, as shown in drawing 8 (d), the entrance door 20 will be made to upper-*****, the entrance 6 of the chamber 1 will be opened wide, and the processed material 4 by which plasma treatment was carried out will be derived by rotation of the roller 5. Thus, plasma treatment can be carried out continuously, conveying the processed material 4.

[0055]The following disposal methods are also employable. After generating plasma to the discharge space 34 as mentioned above, make the roller 5 rotate clockwise by operating the driving source 10, and. As shown in drawing 8 (a), the entrance door 20 is made to upper-*****, the entrance 6 of the chamber 1 is opened wide, and the processed material 4 is introduced in the chamber 1 from the entrance 6. The processed material 4 introduced in the chamber 1 is carried on the roller 5, and is conveyed by rotation of the roller 5 by the approximately center part in the discharge space 34. If the treatment object 4 is conveyed by the approximately center part in the discharge space 34, by stopping the driving source 10, rotation of the roller 5 will

be stopped and conveyance of the processed material 4 will be interrupted. Next, as shown in drawing 8 (b), the downward moving drive of the entrance door 20 is carried out, the entrance 6 of the chamber 1 is blockaded, and the inside of the chamber 1 is sealed. Next, as drawing 8 (c) shows, only predetermined time stops the treatment object 4 in the discharge space 34, and performs plasma treatment to the processed material 4. Next, as shown in drawing 8 (d), the entrance door 20 is made to upper-***** and the entrance 6 of the chamber 1 is opened. Next, by operating the driving source 10, by making the roller 5 rotate counter clockwise, conveyance of the processed material 4 is resumed and the processed material 4 by which plasma treatment was carried out from the entrance 6 of the chamber 1 is derived. Thus, by supplying the processed material 4 to the plasma treatment apparatus, plasma treatment can be continuously performed to the processed material 4 of two or more sheets.

[0056] This embodiment is what has the same effect as the above-mentioned embodiment, In addition, by making the entrance 6 into an opened state only at the time of introduction of the processed material 4 into the chamber 1, and derivation of the processed material 4 to the outside of the chamber 1, and making the entrance 6 into a closed state at the time of plasma treatment, The useless outflow of the gas for plasma production from the chamber 1 can be stopped to the minimum, and the gas for plasma production can be used efficiently. The entrance 6 for deriving introduction of the processed material 4 to the chamber 1 and the processed material 4 from the chamber 1 is established in one side of the chamber 1, Since it formed in both normal rotations and reversal of the roller 5 for conveying the processed material 4, enabling free rotation, By introducing the processed material 4 in the chamber 1 from the entrance 6 by normal rotation of the roller 5, and deriving the processed material 4 from the entrance 6 out of the chamber 1 by reversal of the roller 5, The processed material 4 from [only from the direction in which the entrance 6 was established] introduction and the chamber 1 of the processed material 4 to the chamber 1 can be derived, a space required for the surroundings of the chamber 1 can be made small in the case of plasma treatment, and space-saving-ization can be attained.

[0057] Other embodiments are shown in drawing 9. The chamber 1 of this plasma treatment apparatus is what is formed in a cube type like the above, one side attachment wall 50 of the chamber 1 -- abbreviated -- while the slit shape horizontally long entrance 7 is formed -- the side attachment wall 51 of another side of the chamber 1 -- abbreviated -- it is formed so that the slit shape horizontally long exit 8 may counter with the entrance 7. The same electrodes 2 and 3 as the above

and the roller 5 are formed in the inside of the chamber 1, and the driving source 10 is formed in the exterior of the chamber 1 like the above. The introduction side relaxation chamber 9a is formed in the outside of one side attachment wall 50 of the chamber 1 as the relaxation chamber 9 at one. As the introduction side relaxation chamber 9a encloses the entrance 7, it is formed, and the slit shape long relaxation chamber feed port 40 makes it counter one side attachment wall 50 of the chamber 1, and the side attachment wall 52 of the introduction side relaxation chamber 9a which counters with the entrance 7, and it is formed in the abbreviated level at them. In the introduction side relaxation chamber 9a, the roller 5 in the chamber 1 and the roller 5 formed similarly enabling free rotation are formed. The derivation side relaxation chamber 9b is formed in the outside of the side attachment wall 51 of another side of the chamber 1 as the relaxation chamber 9 at one. As the derivation side relaxation chamber 9b encloses the exit 8, it is formed, and the slit shape long relaxation chamber derivation port 41 makes it counter the side attachment wall 51 of another side of the chamber 1, and the side attachment wall 53 of the derivation side relaxation chamber 9b which counters with the exit 8, and it is formed in the abbreviated level at them. In the introduction side relaxation chamber 9b, the roller 5 in the chamber 1 and the roller 5 formed similarly enabling free rotation are formed.

[0058]In carrying out plasma treatment of the tabular processed material 4 using the plasma treatment apparatus formed in this way by the shape of piece, such as a substrate for circuits, and a glass substrate for liquid crystals (short length), it carries out as follows. First, dielectric barrier discharge is generated like the above in the discharge space 34, and plasma is generated. Next, the roller 5 is made to rotate clockwise by operating the driving source 10, and as shown in drawing 10 (a), the processed material 4 is introduced in the chamber 1 from the relaxation chamber feed port 40 and the entrance 7. The processed material 4 introduced in the chamber 1 is carried on the roller 5, and is conveyed by rotation of the roller 5 to the discharge space 34. And as shown in drawing 10 (b), being conveyed with the roller 5, the processed material 4 introduced in the chamber 1 passes through the discharge space 34, and plasma treatment is carried out continuously. Then, as shown in drawing 10 (c), the processed material 4 by which plasma treatment was carried out from the exit 8 and the relaxation chamber derivation port 41 is derived by rotation of the roller 5. Thus, by supplying the processed material 4 to the plasma treatment apparatus, plasma treatment can be continuously performed to the processed material 4 of two or more sheets.

[0059]The following disposal methods are also employable. After generating plasma to

the discharge space 34 as mentioned above, the roller 5 is made to rotate clockwise by operating the driving source 10, and as shown in drawing 10 (a), the processed material 4 is introduced in the chamber 1 from the relaxation chamber feed port 40 and the entrance 7. The processed material 4 introduced in the chamber 1 is carried on the roller 5, and is conveyed by rotation of the roller 5 by the approximately center part in the discharge space 34. If the treatment object 4 is conveyed by the approximately center part in the discharge space 34, as shown in drawing 10 (b), By stopping the driving source 10, rotation of the roller 5 is stopped, conveyance of the processed material 4 is interrupted, and only predetermined time stops the treatment object 4 in the discharge space 34, and performs plasma treatment to the processed material 4. Next, by operating the driving source 10, by making the roller 5 rotate clockwise, conveyance of the processed material 4 is resumed, and as shown in drawing 10 (c), the processed material 4 by which plasma treatment was carried out from the exit 8 and the relaxation chamber derivation port 41 is derived. Thus, by supplying the processed material 4 to the plasma treatment apparatus, plasma treatment can be continuously performed to the processed material 4 of two or more sheets.

[0060]According to this embodiment, since the entrance 7 and the exit 8 are formed in the always opened slit shape, the mechanism to which the switching action of the door and door for opening and closing the entrance 7 and the exit 8 is carried out is unnecessary, and structure can be simplified. Quantity of the open air (air) which quantity of the gas for plasma production which flows out of the chamber 1 through the entrance 7 and the exit 8 can be lessened since the relaxation chamber 9 is formed so that the entrance 7 and the exit 8 may be enclosed, and flows into the chamber 1 through the entrance 7 and the exit 8 can be lessened, By the outflow of the gas for plasma production by the relaxation chamber 9, and the moderating actions of an inflow of the open air. Even if the entrance 7 and the exit 8 have always opened wide, The concentration of the gas for plasma production in the chamber 1 can be maintained at approximately regulated, and it is stabilized, and can generate homogeneous plasma, and. The useless outflow of the gas for plasma production from the chamber 1 can be stopped to the minimum, and the gas for plasma production can be used efficiently.

[0061]Also in which above-mentioned embodiment, the position of the number of the electrodes 2 and 3 or the roller 5, the gas supply line 30, and the gas exhausting pipe 31 is arbitrary.

[0062]

[Example]An example explains this invention concretely below.

[0063](Example 1) Plasma treatment of the processed material 4 was performed using the plasma treatment apparatus shown in drawing 1.

[0064]The electrodes 2 and 3 were formed with the plate made from stainless steel (SUS304), and formed the discharge space 34 by carrying out the placed opposite of these electrodes 2 and 3 at intervals of 5 mm. The dielectric 32 made from silica glass was formed in the surface by the side of the discharge space 34 of the electrodes 2 and 3 at 1 mm in thickness. Dry air was used as gas for plasma production. As the processed material 4, the glass for liquid crystals (that whose degree of angle of contact of the water before plasma treatment is about 45 degrees) was used.

[0065]And by impressing the voltage of an alternation voltage waveform which blow off the gas for plasma production from the nozzle 12, and it introduces into the discharge space 34, and does not have a quiescent period by the power supply 43 between the electrodes 2 and 3, Make the discharge space 34 generate dielectric barrier discharge under atmospheric pressure, and the discharge space 34 is made to generate the plasma which consists of the streamer 11 of a large number which plasma-ize the gas for plasma production by this dielectric barrier discharge, and include plasma active species, Then, plasma treatment (removal of an organic matter) was performed by introducing the processed material 4 into the discharge space 34, and supplying plasma to the surface of the processed material 4.

[0066]This voltage was impressed between the electrodes 2 and 3 on the conditions shown in Table 1 using what is shown in Table 1 as voltage of an alternation voltage waveform without the quiescent period impressed between the electrodes 2 and 3.

[0067](Examples 2-4) Plasma treatment was performed like Example 1 except having impressed this voltage between the electrodes 2 and 3 on the conditions shown in Table 1 using what is shown in Table 1 as voltage of an alternation voltage waveform without the quiescent period impressed between the electrodes 2 and 3.

[0068](Comparative example 1) Plasma treatment was performed like Example 1 except having made the discharge space 34 generate glow discharge, using helium as gas for plasma production.

[0069](Comparative example 2) Plasma treatment was performed like Example 1 except having used voltage with the quiescent period which a waveform shows to drawing 20.

[0070](Comparative example 3) Plasma treatment was performed like Example 1 except having used the voltage of the alternation voltage waveform in which 250microsec does not have build up time, and 250micro sec of a quiescent period

does not have falling time.

[0071]The homogeneity of plasma density [in / comparative examples / 1-3 / the above-mentioned Examples 1-4 and / the discharge space 34], the homogeneity of plasma treatment, and the capability of plasma treatment were evaluated.

[0072]The variation in the luminescence intensity at the time of discharge estimated the homogeneity of the plasma density in the discharge space 34.

[0073]The variation in the degree of angle of contact of the water of the processed material 4 estimated the homogeneity of plasma treatment.

[0074]The degree of angle of contact of the water of the processed material 4 estimated the capability of plasma treatment.

[0075]A result is shown in Table 1.

[0076]

[Table 1]

	実施例1	実施例2	実施例3	実施例4	比較例1	比較例2	比較例3
プラズマ生成用ガス	乾燥空気	乾燥空気	乾燥空気	乾燥空気	He+3%O ₂	乾燥空気	乾燥空気
電圧の波形	正弦波	図17(b)	図17(b)	図17(c)	正弦波	図20	正弦波
立ち上がり時間 (μsec)	5	0.5	0.1	5	5	25	250
立ち下がり時間 (μsec)	5	50	5	0.1	5	25	250
繰り返し周波数 (kHz)	50	10	100	100	50	20	1
電界強度 (kV/cm)	10	20	20	20	2	10	20
投入電力 (kW)	2	2	3	3	1	1	2
放電空間におけるプラズマ密度の均一性	2%以下	2%以下	2%以下	2%以下	1%以下	2%以下	10%以下
プラズマ処理の均一性	5%以下	5%以下	5%以下	5%以下	5%以下	5%以下	10%以下
プラズマ処理の能力	5°以下	5°以下	5°以下	5°以下	5°以下	5°以下	5°以下
プラズマ処理時間(sec)	10	8	2	4	20	15	50

[0077]In Examples 1-4 which performed plasma treatment by the dielectric barrier discharge generated using dry air, so that clearly from Table 1. It was a thing for 10 or less seconds which can make the degree of angle of contact of the water of the processed material 4 5 degrees or less from about 45 degrees by short-time plasma treatment dramatically, and can remove the organic matter of the surface of glass in a short time.

[0078]On the other hand, in the comparative example 1 which performed plasma

treatment by the conventional glow discharge using helium, the processing time more than double [of Examples 1-4 which performed plasma treatment by dielectric barrier discharge] started. Also in the comparative example 2 only using pulse form wave-like voltage, prolonged plasma treatment was required. In the case of the comparative example 3 using the voltage of the alternation voltage waveform on which both build up time and falling time exceed 100microsec, the homogeneity of plasma density and the homogeneity of plasma treatment were low, and the time which plasma treatment takes also became very long.

[0079]

[Effect of the Invention]The invention of claim 1 of this invention forms between the electrodes by which the placed opposite was carried out as discharge space as mentioned above, A dielectric is provided in the discharge space side of at least one electrode among the electrodes by which the placed opposite was carried out, In the plasma treatment apparatus made to generate dielectric barrier discharge in discharge space under the pressure near the atmospheric pressure by supplying the gas for plasma production to discharge space, and impressing voltage to inter-electrode, Since the waveform of the voltage impressed to inter-electrode is made into an alternation voltage waveform without a quiescent period and build up time of this alternation voltage waveform is made less than 100microsec, By performing plasma treatment using the dielectric barrier discharge which is not glow discharge, It can become possible to be able to hold down low the cost which becomes unnecessary [helium] and starts plasma treatment, and to enlarge supplied power to discharge space, plasma density can be made high, and capability of plasma treatment can be made high.

And by making build up time less than 100microsec, it becomes easy to generate a streamer in discharge space uniformly, homogeneity of the plasma density in discharge space can be made high, and uniform plasma treatment can be performed.

[0080]The invention of claim 2 of this invention forms between the electrodes by which the placed opposite was carried out as discharge space, A dielectric is provided in the discharge space side of at least one electrode among the electrodes by which the placed opposite was carried out, In the plasma treatment apparatus made to generate dielectric barrier discharge in discharge space under the pressure near the atmospheric pressure by supplying the gas for plasma production to discharge space, and impressing voltage to inter-electrode, Since the waveform of the voltage impressed to inter-electrode is made into an alternation voltage waveform without a

quiescent period and falling time of this alternation voltage waveform is made less than 100microsec, By performing plasma treatment using the dielectric barrier discharge which is not glow discharge, It can become possible to be able to hold down low the cost which becomes unnecessary [helium] and starts plasma treatment, and to enlarge supplied power to discharge space, plasma density can be made high, and capability of plasma treatment can be made high.

And by making falling time less than 100microsec, it becomes easy to generate a streamer in discharge space uniformly, homogeneity of the plasma density in discharge space can be made high, and uniform plasma treatment can be performed.

[0081]In the invention of claim 3 of this invention, the repeat frequency of an alternation voltage waveform shall be 0.5–200 kHz.

Therefore, capability of plasma treatment can be made high, being able to make plasma density of dielectric barrier discharge high, and preventing [can prevent contraction of an arc or discharge, and] the damage to a processed material, and poor discharge.

[0082]In the invention of claim 4 of this invention, field intensity impressed to inter-electrode is made into 1 – 200 kV/cm.

Therefore, capability of plasma treatment can be made high, being able to make plasma density of dielectric barrier discharge high, and preventing [can prevent an arc, and] the damage to a processed material.

[0083]In the invention of claim 5 of this invention, pulse form high tension is superimposed on the voltage of an alternation voltage waveform without the quiescent period impressed to inter-electrode.

Therefore, an electron is accelerated in discharge space and the electron of high energy can be generated, It becomes possible to be able to ionize and excite efficiently the gas for plasma production in discharge space with the electron of this high energy, and to generate high-density plasma, and the efficiency of plasma treatment can be raised.

[0084]In the invention of claim 6 of this invention, it superimposes, after carrying out specified time elapse of the pulse form high tension immediately after the voltage-poles nature of an alternation voltage waveform changes.

Therefore, by changing the timing which can change the acceleration situation of the

electron in discharge space, therefore impresses pulse form high tension to inter-electrode. It becomes possible to control ionization of the gas for plasma production in discharge space, and an excitation state, and the plasma state suitable for desired plasma treatment can be made easily.

[0085] Since the invention of claim 7 of this invention superimposes two or more pulse form high tensions in 1 cycle of an alternation voltage waveform, it is a becoming thing which is carried out that it is easy to change the acceleration situation of the electron in discharge space.

Therefore, by changing the timing which impresses pulse form high tension to inter-electrode, it becomes easier to control ionization of the gas for plasma production in discharge space, and an excitation state, and the plasma state suitable for desired plasma treatment can be made still more easily.

[0086] In the invention of claim 8 of this invention, build up time of pulse form high tension is made less than 0.1microsec.

Therefore, only the electron in discharge space is efficiently accelerable, the gas for plasma production can be efficiently ionized and excited in discharge space, generation of high-density plasma is attained, and the efficiency of plasma treatment can be raised.

[0087] In the invention of claim 9 of this invention, peak value of pulse form high tension is made more than the maximum voltage value of an alternation voltage waveform.

Therefore, the gas for plasma production can be efficiently ionized and excited in discharge space, generation of high-density plasma is attained, and the efficiency of plasma treatment can be raised.

[0088] In the invention of claim 10 of this invention, the alternation voltage waveform of two or more sorts of frequency is piled up, and an alternation voltage waveform without the quiescent period impressed to inter-electrode is formed.

Therefore, the electron in discharge space is accelerated with the voltage of the frequency of a high frequency component, and the electron of high energy can be generated. The gas for plasma production can be efficiently ionized and excited in discharge space with the electron of this high energy, generation of high-density plasma is attained, and the efficiency of plasma treatment can be raised.

[0089] Since the invention of claim 11 of this invention performs plasma treatment using the plasma treatment apparatus according to any one of claims 1 to 10, By performing plasma treatment using the dielectric barrier discharge which is not glow discharge, It can become possible to be able to hold down low the cost which becomes unnecessary [helium] and starts plasma treatment, and to enlarge supplied power to discharge space, plasma density can be made high, and capability of plasma treatment can be made high.

And by making build up time and falling time less than 100microsec, it becomes easy to generate a streamer in discharge space uniformly, homogeneity of the plasma density in discharge space can be made high, and uniform plasma treatment can be performed.